



**INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO**

Bruno Miguel de Castro Barbosa

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL HIDROELÉTRICO - USO DE SIG NA BACIA DO RIO LIMA

Mestrado em Sistemas de Energias Renováveis
Energias Renováveis e Eficiência Energética / MSER

Orientador

Professor Doutor Pedro Miguel Ribeiro de Castro

Coorientadores

Professor Doutor Joaquim Mamede Alonso

Professor Doutor Manuel Joaquim Peixoto Marques Ribeiro

Novembro de 2015



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

AUTOR

BRUNO MIGUEL DE CASTRO BARBOSA

CONSTITUIÇÃO DO JÚRI

PRESIDENTE: DOUTORA PRECIOSA PIRES (ESTG – IPVC)

VOGAL ARGUENTE: DOUTOR CLÁUDIO PAREDES (ESA – IPVC)

VOGAL: DOUTOR PEDRO CASTRO (ESTG – IPVC)



DEDICATÓRIA

AOS MEUS PAIS

BASÍLIO E FERNANDA

À MINHA NAMORADA

ADRIANA

A TODA A MINHA FAMÍLIA E AMIGOS



PENSAMENTO

“Não é o trabalho, mas o saber trabalhar, que é o segredo do êxito no trabalho. Saber trabalhar quer dizer: não fazer um esforço inútil, persistir no esforço até ao fim, e saber reconstruir uma orientação quando se verificou que ela era, ou se tornou, errada.” *Fernando Pessoa*



AGRADECIMENTOS

No culminar de longos meses de trabalho, importa reconhecer a importância de todos aqueles que contribuíram para a realização desta dissertação.

Em primeiro lugar quero manifesta-lo aos Doutores Pedro Castro, Joaquim Alonso e Manuel Ribeiro, meus orientadores. Devo-lhes a gratidão e a honra de conduzirem este estudo de uma forma concisa e organizada.

Importa reconhecer-lhes o mérito com que tornaram este estudo num enriquecimento científico motivador, capaz de fazer com que a vontade de investigar os temas aqui expostos se realizasse com mais afinho.

Um agradecimento muito especial à Ivone Martins pela vontade com que sempre se disponibilizou a ajudar na realização deste projeto, bem como a toda a informação que gentilmente cedeu.

Reconheço ainda a ajuda da Joana Amorim na realização das saídas gráficas, porque sem elas não seria possível apresentar os resultados do trabalho que se desenvolveu ao longo destes meses.

Agradeço ao David Barbosa, ao Diogo Gomes e ao Marco Rodrigues, meus colegas de mestrado, pelas longas conversas sobre os avanços e recuos que foram sendo realizados no estudo.

Um agradecimento muito especial à Adriana Sousa, pelo apoio, compreensão, dedicação e encorajamento com que sempre me premiou no decorrer destes longos meses de trabalho. Agradeço igualmente, à sua calma e capacidade de me tranquilizar, mesmo nas horas mais complicadas onde a pressão reinou.

Por último, e não quero com isto dizer que tenha menos importância, quero agradecer a toda a minha família, pelo apoio, encorajamento e dedicação com que me assistiram ao longo de toda a minha carreira profissional.

A TODOS, E A CADA UM DE VÓS, MUITO OBRIGADO!



ÍNDICE GERAL

DEDICATÓRIA.....	I
PENSAMENTO	III
AGRADECIMENTOS	V
ÍNDICE GERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE QUADROS	XIII
ÍNDICE DE EQUAÇÕES.....	XV
ÍNDICE DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XVII
RESUMO.....	XIX
ABSTRACT.....	XXI
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	23
1.1. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO	24
CAPÍTULO 2 – ÁGUA, ENERGIA E OS MECANISMOS DE CONVERSÃO	27
2.1. PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA EM PORTUGAL	28
2.2. DIRETIVA 2000/60/CE DE 23 DE OUTUBRO – QUADRO DA ÁGUA.....	34
2.3. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL ÀS MINI-HÍDRICAS	36
2.3.1. Decreto-Lei nº 126/2010 de 23 de Novembro.....	37
2.3.2. Decreto-Lei nº 226-A/2007 de 31 de Maio.....	38
2.3.3. Portaria nº 294/2002 de 19 de Março	39
2.4. O FOMENTO DA HIDROELETRICIDADE EM PORTUGAL.....	40
2.4.1. Aproveitamento Energético em Grandes Hídricas	41
A) Barragens Convencionais.....	41
B) Barragens Reversíveis.....	41
2.4.2. Aproveitamento Energético Nas Mini-Hídricas.....	42
A) Classificações e Enquadramento de Mini-Hídricas.....	42
2.5. TURBINAS HIDRÁULICAS	44
2.5.1. Turbinas de Ação.....	45
2.5.2. Turbinas de Reação.....	46
2.6. ELEMENTOS ELETROMECAÑICOS.....	47
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	50
3.1.1. Funcionalidade dos SIG.....	51
3.2. INFORMAÇÃO GEORREFERENCIADA	53
3.2.1. Posição Geográfica.....	53
3.2.2. Atributos.....	53
3.2.3. Relações Espaciais.....	53
3.2.4. Tempo.....	53
3.3. APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	54
3.3.1. Utilização dos SIG em Projetos Geográficos	54



3.3.2. Gestão de Projetos em SIG	55
3.4. MODELAÇÃO GEOGRÁFICA	56
3.5. MODELO DE TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS	57
3.6. MODELO IRBM – INTEGRATED RIVER BASIN MANAGEMENT	58
3.6.1. Condições Hidrogeológicas	59
A) Carta Hidrogeológica de Portugal Continental	60
B) Carta Geológica de Portugal Continental	61
3.6.2. Caraterísticas do Solo	62
A) Carta de Solos de Portugal Continental	63
3.6.3. Condições Climatológicas	64
A) Carta de Precipitação Total Anual	65
A) Carta de Evapotranspiração Real	65
3.6.4. Geomorfologia do Terreno	66
A) Modelo Digital do Terreno	67
3.6.5. Estabilidade dos Ecossistemas Florestais	67
A) Carta de Áreas Ardidas	68
3.6.6. Caraterização dos Solos Não Florestais	69
A) Carta Corine Land Cover	69
3.6.7. Análise Multicritério Ponderada	70
A) Classificação do Potencial Hídrico	71
3.7. POTENCIAL ENERGÉTICO RELATIVO	72
3.8. EXPLORABILIDADE ENERGÉTICA	74
3.8.1. Influência da Rede Viária	76
A) Carta da Rede Viária	77
3.8.2. Influência das Condicionantes À Gestão Ambiental e Conservação da Natureza	78
A) Carta das Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza	80
3.8.3. Influência da Rede Energética	80
A) Carta da Rede Energética	81
3.8.4. Mapa de Explorabilidade Energética	82
CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	83
4.1. CARATERIZAÇÃO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO MINHO-LIMA	84
4.1.1. Caraterização da Sub-Bacia do Lima	86
4.2. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	87
4.2.1. Análise das Condições Hidrogeológicas	87
4.2.2. Análise das Caraterísticas do Solo	89
4.2.3. Análise às Condições Climatológicas	95
4.2.4. Análise às Caraterísticas Geomorfológicas	98
4.2.5. Análise da Estabilidade dos Ecossistemas Florestais	101
4.2.6. Análise à Caraterização dos Solos Não Florestais	103
4.2.7. Análise do Potencial Hídrico	107
4.3. ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO RELATIVO	110
4.3.1. Análise do Potencial Energético Relativo Em Função do Potencial Hídrico	111
4.4. ANÁLISE DA EXPLORABILIDADE ENERGÉTICA	113
4.4.1. Análise da Influência da Rede Viária	113



4.4.2. Análise da Influência das Condicionantes À Gestão Ambiental e Conservação da Natureza	115
4.4.3. Análise da Influência da Rede Energética	117
4.4.4. Análise do Mapa de Explorabilidade Energética	120
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de Energia Primária por Tipo de Fonte [7]	28
Figura 2 - Produção de Energia Elétrica [7]	29
Figura 3 - Contributo das Energias Renováveis na Produção Total de Eletricidade [7]	31
Figura 4 - Contributo da Produção Hídrica nas Energias Renováveis [7]	32
Figura 5 - Contributo das Energias Renováveis no Balanço Energético [7]	33
Figura 6 - Principais Elementos de Uma Central Mini-Hídrica [30].....	43
Figura 7 - Gráfico de seleção de turbinas para pequenas centrais hídricas [31].....	44
Figura 8 - Turbina Pelton [33].....	45
Figura 9 - Modelo de uma turbina cross-flow [34]	45
Figura 10 - Turbina Francis [35]	46
Figura 11 - Esquema de uma Turbina Kaplan [36].....	46
Figura 12 - Unidades Hidrogeológicas de Portugal Continental [45]	59
Figura 13 - Enquadramento das Regiões Hidrográficas do Norte [56]	84
Figura 14 - Gráfico da distribuição das necessidades de água na RH1 pelos vários usos consumptivos em ano médio [61]	85
Figura 15 – Sub Bacia do Lima [63].	86
Figura 16 - Análise à Transmissividade das Formações Rochosas da Bacia Hidrográfica do Lima	87
Figura 17 - Mapa de Transmissividade das Formações Rochosas	89
Figura 18 - Análise da Capacidade de Infiltração da Precipitação nos Tipos de Solo da Bacia Hidrográfica do Lima.....	90
Figura 19 - Mapa da Capacidade de Infiltração da Precipitação	92
Figura 20 - Análise da Capacidade de Retenção da Precipitação nos Tipos de Solo da Bacia Hidrográfica do Lima.....	93
Figura 21 - Mapa da Capacidade de Retenção da Precipitação.....	95
Figura 22 - Análise à Precipitação Anual Ocorrida na Bacia Hidrográfica do Lima .	96
Figura 23 - Mapa da Classificação da Precipitação Anual.....	98
Figura 24 - Análise do Declive do Terreno para a Bacia Hidrográfica do Lima	99
Figura 25 - Mapa de Classificação do Declive do Terreno	100
Figura 26 - Análise da Estabilidade dos Ecossistemas Florestais da Bacia Hidrográfica do Lima	101
Figura 27 - Mapa da Avaliação da Estabilidade dos Ecossistemas Florestais	103
Figura 28 - Análise dos Solos Não Florestais da Bacia Hidrográfica do Lima	104
Figura 29 - Mapa da Caracterização dos Ecossistemas Não Florestais	106
Figura 30 - Análise da Aptidão Hídrica para a Bacia Hidrográfica do Lima	107
Figura 31 - Mapa de Classificação do Potencial Hídrico	109
Figura 32 - Mapa do Potencial Energético Relativo.....	110
Figura 33 - Mapa do Potencial Energético Relativo em Função do Potencial Hídrico	111
Figura 34 - Análise da Densidade da Rede Viária	113
Figura 35 - Mapa da Densidade da Rede Viária.....	114
Figura 36 - Análise das Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza	115



Figura 37 - Mapa das Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza	116
Figura 38 - Análise do Distanciamento à Rede Energética	118
Figura 39 - Mapa de Distanciamento à Rede Energética	118
Figura 40 - Mapa da Explorabilidade Energética	120



ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação de pequenas centrais hídricas quanto à potência [28]	43
Quadro 2 - Classificação de pequenas centrais hídricas quanto à sua altura de queda, hu [28]	43
Quadro 3 - Parâmetros de Precisão na Transformação de Coordenadas de DLx para ETRS89 [42]	57
Quadro 4 - Análise Ponderada às Classes Hidrogeológicas [43]	60
Quadro 5 - Tabela de Ponderação dos Tipos de Solo quanto à Infiltração [43]	62
Quadro 6 - Tabela de Ponderação dos Tipos de Solo quanto à Retenção [43]	63
Quadro 7 - Análise Ponderada à Quantidade de Precipitação Ocorrida Anualmente [43]	65
Quadro 8 - Dados Técnicos da Carta de Precipitação Total Anual [48]	65
Quadro 9 - Dados Técnicos da Carta de Evapotranspiração Real [48]	66
Quadro 10 - Ponderação Atribuída ao Declive do Terreno [43]	67
Quadro 11 - Dados Técnicos do Modelo Digital do Terreno [49]	67
Quadro 12 - Análise Ponderada à Estabilidade dos Ecossistemas [43]	68
Quadro 13 - Análise Ponderada ao Uso e Ocupação do Solo [43]	69
Quadro 14 - Dados Técnicos da Corine Land Cover [51]	70
Quadro 15 - Atribuição das Classes de Importância às Categorias de Análise [43]	70
Quadro 16 - Classificação do Potencial Hídrico [43]	71
Quadro 17 - Atribuição de Ponderações à Densidade da Rede Viária	77
Quadro 18 – Dados Técnicos da Carta da Rede Viária [46]	77
Quadro 18 - Análise do Compromisso Imposto pelas Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza	79
Quadro 19 - Dados Técnicos da Carta das Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza [59]	80
Quadro 20 - Classes de Distanciamento da Rede Energética Nacional	81
Quadro 21 - Dados Técnicos da Carta de Rede Energética [14]	81
Quadro 21 - Classificação da Explorabilidade Energética	82



ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo da Remuneração Aplicável a Centrais Renováveis	37
Equação 2 - Cálculo da Precipitação Disponível [43]	64
Equação 3 – Cálculo das Classes de Análise do Potencial Hídrico [43]	71
Equação 4 - Cálculo das Áreas de Acumulação	72
Equação 5 - Cálculo do Desnível nas Linhas de Água	72
Equação 6 - Cálculo do Potencial Energético Relativo	72



ÍNDICE DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DQA	Diretiva-Quadro da Água
Mtep	Mega Tonelada Equivalente de Petróleo
GWh	Giga Watt-hora
MW	Mega Watt
RESP	Rede Energética de Serviço Público
ARH	Administração Regional Hidrográfica
RNT	Rede Nacional de Transporte
DRAOT	Direção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
ENE 2020	Estratégia Nacional para a Energia 2020
GW	Giga Watt
PNBEPH	Plano Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico
m	Metro
h_u	Altura de queda útil
P_{inst}	Potência Instalada
m^3/s	Metro cúbico por segundo
kW	Kilo Watt
SIG	Sistema de Informação Geográfica
ESRI	Environmental System Research Institute
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
NTv2	National Transformation version 2
RGN	Rede Geodésica Nacional
GPS	Global Positioning System
IRBM	Integrated River Basin Management
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
IGeoE	Instituto Geográfico do Exército
P_i	Precipitação disponível
P_\emptyset	Precipitação anual
E_0	Evapotranspiração total anual
mm	Milímetro



MDT	Modelo Digital do Terreno
ICNF	Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas
CLC	Corine Land Cover
EM	Estrada Municipal
ER	Estrada Regional
EN	Estrada Nacional
IC	Itinerário Complementar
IP	Itinerário Principal
AP	Áreas Protegidas
SIC	Sítios de Importância Comunitária
ZPE	Zonas de Proteção Especial
RAN	Reserva Agrícola Nacional
REN	Reserva Ecológica Nacional
kV	Kilo Volt
RH1	Região Hidrográfica 1
km ²	Quilómetro quadrado
hm ³	Hectómetro cúbico
hm ³ /ano	Hectómetro cúbico por ano
km	Quilómetro
cm	Centímetro



RESUMO

O estudo de *Planeamento do Potencial Hidroelétrico* surge com a necessidade de uma utilização racional dos recursos hídricos para a produção de energia elétrica, bem como a sua exploração sustentável.

Este estudo pretende avaliar o *Potencial Hidroelétrico* para a *Bacia Hidrográfica do Lima*, baseando-se em de três fatores: *Potencial Hídrico* (modelo IRBM), *Potencial Energético Relativo* (acumulação de áreas contribuintes para o caudal e diferenças de cotas ao longo das linhas de água), e *Explorabilidade Energética* (avaliação da explorabilidade sustentável nas localizações detetadas).

Com recurso à *Análise Espacial*, usando *Ferramentas SIG*, conclui-se que a Bacia Hidrográfica do Lima apresenta um *Potencial Hídrico Bom* em cerca de 71% do seu território, o que se traduz numa boa aptidão hídrica. Quando sobreposto o *Potencial Energético Relativo* sobre os *Locais de Boas Aptidões Hídricas*, os resultados evidenciaram que são as localizações presentes nos Concelhos de Arcos de Valdevez, Ponte da Barca, Ponte de Lima, e as localizações mais a Norte do Concelho de Melgaço que reúnem as melhores condições de aproveitamento. Ao limitar o estudo aos fatores de *Explorabilidade Energética*, constatou-se que as localizações detetadas no Concelho de Melgaço apresentam muitas condicionantes à exploração sustentável, uma vez que se encontram inseridas no Parque Nacional da Peneda-Gerês e, por conseguinte, também se encontram afastadas da Rede Energética e com Baixa Densidade de Vias.

O *Potencial Energético Relativo* aponta para o planeamento de recursos ao longo das linhas de água, no entanto para a implementação de *Centrais Mini-Hídricas* importa conhecer o *Potencial Energético Absoluto*. Este facto, leva à necessidade de validação e calibração do modelo articulado com dados quantitativos de caudal, apontando-se como proposta de trabalho futuro.



ABSTRACT

The study of Hydroelectric Potential Planning comes with the need for rational use of water resources, for the production of electricity as well as for rational and sustainable exploitation.

This study aims to evaluate *the Hydroelectric Potential for Lima Basin*, based on three factors: *Hydric Potential* (IRBM model), *Energy Relative Potential* (accumulation of taxpayers areas for flow and differences in elevations along the water lines), and *Exploitability Energy* (evaluation of sustainable exploitability in the detected locations).

Using the Spatial Analysis (GIS Tools), it is concluded that the Lima Basin has a *Hydric Potential* good in about 71% of its territory, which translates into a good hydric conditions. When overlapping the *Energy Relative Potential* on Good Local Skills Hydro the results that it is the present locations in, Arcos de Valdevez, Ponte da Barca, Ponte de Lima, and the North of locations Melgaço together are the best use conditions. By limiting the study with *Energy Exploitability* factors it was observed that the detected locations in Melgaço have many constraints to sustainable exploitation, since they are embedded in the Peneda-Gerês National Park, and therefore are also apart Energy Lines and Low Way Density.

The *Energy Relative Potential* induces planning resources along the water lines, however for the implementation of Small Hydro plants important know the *Energy Absolute Potential*. This leads need for validation and calibration on the working model with quantitative flow data, pointing up as a proposal for future work.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO



1.1. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO

A água, enquanto recurso natural finito, ocupa um papel de especial destaque nos ecossistemas naturais e na regulação climática, acabando por gerar crescimento económico, embora a sua disponibilidade possa ser especialmente vulnerável às alterações climáticas e às ações antrópicas [1].

Num raio de ação voltado para a saúde pública, com especial enfoque no abastecimento de água capaz de assegurar a continuidade da biodiversidade dos ecossistemas naturais, é muito importante garantir que as águas se encontrem num bom estado ecológico e químico, sendo por isso necessário ajustar e implementar medidas e métodos capazes de assegurar esse compromisso.

A importância da água enquanto recurso natural comprova-se com a necessidade a que todas as sociedades se vêm obrigadas com a sua utilização racional, que permitirá gerar e manter um crescimento económico de forma sustentável em diversos setores, nomeadamente: na agricultura, na pesca, na produção de energia, na produção industrial, nos transportes e no turismo [1].

No sentido de assegurar a sua qualidade e a sua preservação foi criado um Quadro de Ação Comunitária no domínio da Política da Água, a *Diretiva Quadro da Água* (DQA), tendo sido transposta para o Quadro Jurídico Português através da Lei nº 58/2005 de 29 de dezembro, designada *Lei da Água* [2].

A gestão dos recursos hídricos atinge um grau de complexidade notável, produzindo efeitos diretos sobre a sociedade, nomeadamente, na área económica e ambiental. Esta influência justifica a necessidade de criar instrumentos de apoio à decisão que garantam a prevenção, proteção, recuperação e valorização da água enquanto recurso escasso e essencial para a competitividade territorial.

A Diretiva Quadro da Água estabelece uma ação no domínio da política da água com vista à promoção de medidas articuladas em cada bacia hidrográfica, garantindo a gestão sustentável dos recursos hídricos, e criando medidas de proteção das águas superficiais interiores, de transição e costeiras, e das águas subterrâneas [3].



A água é, talvez, o recurso natural com um significado de abrangência mais amplo, notando-se a sua interação com os ecossistemas, e acabando por desencadear uma ação direta sobre a sociedade e a economia, com um papel muito relevante na produção de eletricidade.

Enquanto recurso energético, destaca-se o facto de possuir um contributo muito significativo na produção de “eletricidade verde”, ou seja, na produção de eletricidade proveniente de recursos endógenos, com níveis de poluição muito inferiores aos dos combustíveis de origem fóssil. Saliente-se também o facto de usufruir de indicadores favoráveis a um claro aumento da capacidade produtiva e fomentando diretamente a economia nacional [4].

O estudo que se apresenta, surge como elemento de ligação entre: a importância da água enquanto recurso natural e a produção de energia elétrica a partir de recursos hídricos.

A criação de um modelo de apoio à decisão para a localização de pequenas centrais hídricas, torna-se numa ferramenta essencial para assegurar um estudo mais detalhado dos locais onde haja um potencial hídrico armazenado.

Por outro lado, sabe-se que a utilização da água para a produção energética constitui uma alternativa aos recursos fósseis, com a vantagem da sua utilização não representar um consumo efetivo. Este facto é essencial do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, uma vez que não compromete a escassez deste recurso endógeno [3].

Neste estudo há o recurso à análise geo-espacial para a deteção de áreas que apresentam maior aptidão à retenção de água. A partir daqui, será possível estimar um potencial hídrico ao longo de um curso de água, suscetível de ser aproveitado em função das necessidades da população envolvente.

O estudo do potencial mini-hídrico requer um enquadramento do ponto de vista do planeamento dos recursos hídricos existentes, capazes de motivarem o seu aproveitamento sob o ponto de vista energético, para que a partir desse planeamento se inicie o estudo de projeto do aproveitamento energético.



No seguimento daquilo que se encontra mencionado anteriormente, o estudo inicia-se com a contextualização da situação energética do país, e com enquadramento da água enquanto recurso natural de maior contributo ao aproveitamento energético. O culminar deste estudo está na identificação de possíveis localizações com melhores aptidões ao Aproveitamento Mini-Hídrico na Bacia Hidrográfica do Lima.

O **Capítulo 1** destaca o paradigma energético no que respeita ao consumo de energia primária associada à produção de eletricidade. Como a produção de eletricidade se faz à custa de vários vetores energéticos, dos quais, alguns de origem renovável, é referido o contributo das energias alternativas na produção total de energia elétrica, com especial destaque para a energia hidroelétrica.

O **Capítulo 2** expõe um conjunto de informação alusiva à gestão de recursos hídricos, bem como a importância da hidroeletricidade no fomento energético do país. Como forma de estudar a capacidade produtiva, são apresentadas as principais tecnologias de turbinas hidráulicas utilizadas em função das características fundamentais do leito: caudal afluente e da altura de queda bruta.

No **Capítulo 3** é apresentada, de uma forma sumária, a importância dos Sistemas de Informação Geográfica na análise espacial, bem como a aplicabilidade da modelação hidrológica ao aproveitamento energético. A partir da modelação hidrológica será possível originar um conjunto de dados geo-espaciais indicativos de localizações onde existam aptidões hídricas significativas para a produção de energia hidroelétrica.

No **Capítulo 4** apresenta-se a caracterização prévia da Bacia Hidrográfica do Lima, como forma de enquadrar e caracterizar os locais gerados a partir do modelo desenvolvido no capítulo anterior.

No **Capítulo 5** são apresentadas as considerações finais ao estudo realizado, bem como as perspetivas futuras à continuidade do estudo.

CAPÍTULO 2 – ÁGUA, ENERGIA E OS MECANISMOS DE CONVERSÃO



2.1. PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA EM PORTUGAL

O consumo de eletricidade está a tornar-se numa preocupação à escala global, uma vez que a sua produção ainda se realiza, em grande parte, à custa de combustíveis de origem fóssil, assumindo estes um lugar de destaque no aumento dos gases com efeito de estufa.

Nos dias que correm, é comum a abordagem de temas relacionados com a produção de energia, normalmente envolta na problemática ambiental. É mediante este cenário, que surge o conceito de *Sustentabilidade Energética*. Este conceito, pode definir-se como sendo a utilização ponderada dos recursos energéticos capazes de suprimir as necessidades da sociedade atual, sem comprometer a qualidade destes mesmos recursos nas gerações futuras [5].

Envolto também no consumo de eletricidade surge o conceito de *Mix Energético*, que poderá ser descrito como sendo o contributo percentual que as diferentes fontes de energia primária possuem na produção de eletricidade [5]. Nos países Europeus, está a tornar-se evidente uma clara preocupação ambiental, com a reestruturação do *Mix Energético*, que acaba por dar origem a um incentivo significativo nas energias alternativas [6].

A análise do contributo das diversas fontes de energia primária no consumo total de energia em Portugal para o período de 2000 a 2012 (**Figura 1**) indica a diminuição do consumo total de energia primária para o período de 2005 a 2012 assumindo um padrão de decréscimo ligeiramente constante.

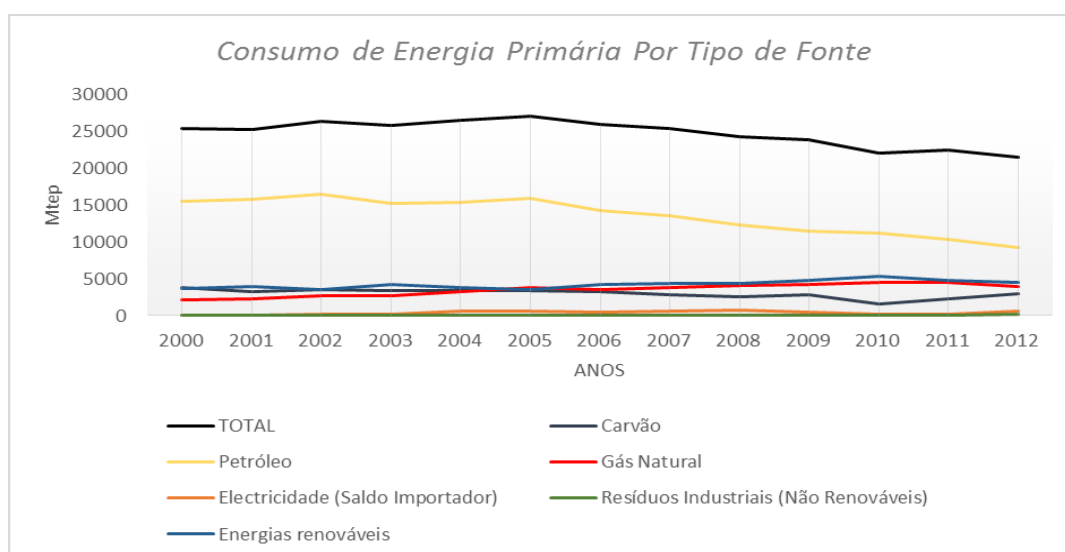


Figura 1 - Consumo de Energia Primária por Tipo de Fonte [7]

Refira-se a visível queda progressiva no consumo de petróleo como fonte de energia primária, podendo ser justificada pelo aumento do preço do respetivo barril, que vem sendo motivado, provavelmente, pelos sucessivos conflitos que se fazem sentir nos países exportadores [8].

Destaque-se o também incremento no consumo de energia proveniente de fontes renováveis e de gás natural. Pode, ainda, mencionar-se que o consumo de carvão segue um padrão relativamente constante até 2010 tendo aqui uma queda notável, por ser o ano em que houve um maior consumo de energia proveniente de fontes renováveis.

A energia com origem na queima de resíduos industriais e a importação de energia, tomam um valor residual, assumindo um padrão ligeiramente constante ao longo dos anos de análise.

A Produção de Eletricidade em Portugal Continental realiza-se com o contributo de diferentes fontes de energia (**Figura 2**), podendo destacar-se a importância que a energia hídrica apresenta, bem com a sua evolução ao longo do período de análise.

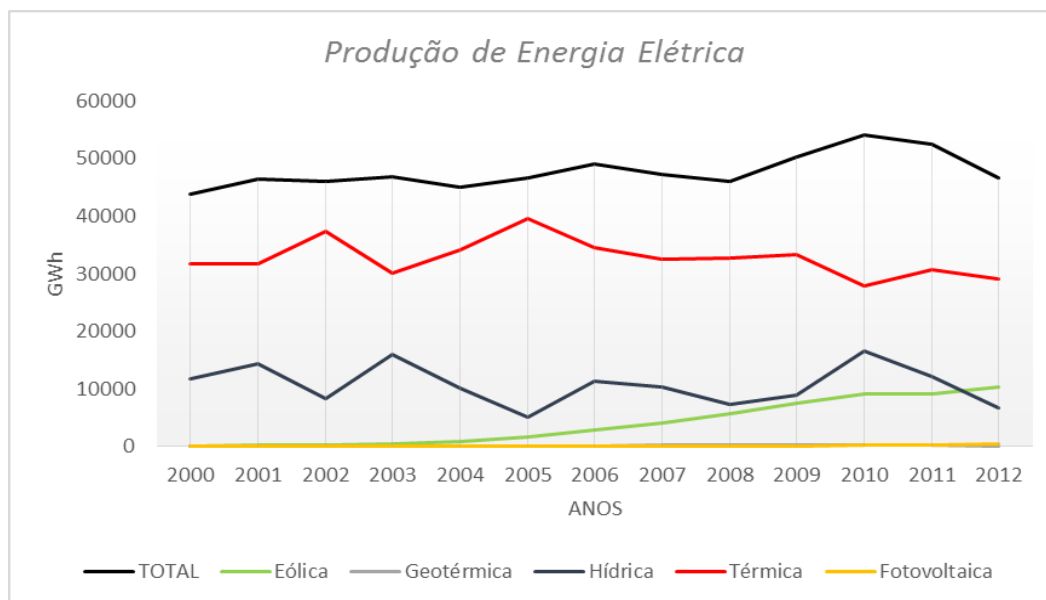


Figura 2 - Produção de Energia Elétrica [7]

A produção de eletricidade segue um padrão de aumento até 2010, com anos típicos de maiores ou menores consumos (**Figura 2**). Depois de 2010 a produção assume uma tendência de decréscimo, sendo que em 2011 o padrão de decréscimo é ainda mais acentuado.



Importa referir que a energia térmica, oriunda da queima de combustíveis fósseis, contribui maioritariamente para assegurar a produção de energia elétrica. No entanto, destaque-se que assume valores médios idênticos até 2009, ano em que esta média de produção começa a ser ligeiramente inferior.

O caso da produção de energia elétrica a partir de fonte geotérmica e fotovoltaica é tido como uma produção residual.

A geotermia de alta entalpia, presente na produção de energia elétrica, deve-se ao caso isolado das Centrais Geotérmicas dos Açores, pelo que a sua contribuição à escala nacional é considerada minoritária [9].

No que respeita à energia fotovoltaica, a sua produção deve-se em grande parte à microprodução, motivo pelo qual o seu contributo para a produção total de eletricidade em Portugal, é ainda muito baixo [10].

Quanto à energia eólica, regista-se um progressivo incremento desde 2003 até 2010, acabando a partir daqui por diminuir e passando a ter um incremento menos significativo. Este registo deve-se, fundamentalmente, ao facto da recessão económica ter motivado um desincentivo ao investimento na produção de energia eólica [11].

Quanto à energia hídrica, poderá destacar-se o facto da sua produção oscilar bastante ao longo dos anos, devendo-se sobretudo à ocorrência casual de anos mais ou menos chuvosos. Note-se que a média de produção ao longo destes anos se tem mantido relativamente constante, o que permite considerar ser este um vetor energético relevante, como forma de assegurar um contributo importante no *Mix Energético* [12].

Dada a problemática ambiental a que se assiste nos últimos anos, é importante apurar o contributo das energias alternativas na produção efetiva de eletricidade (**Figura 3**). Desta forma, será possível destacar o estado em que se encontra o compromisso de Portugal no cumprimento das metas a que se propôs, para o incremento da eficiência energética [13].

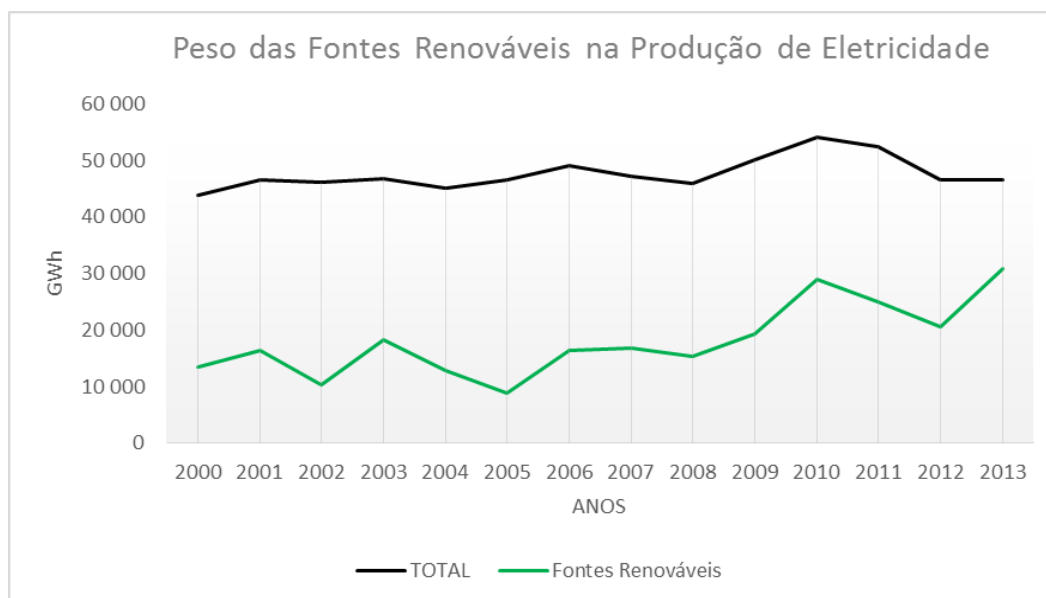


Figura 3 - Contributo das Energias Renováveis na Produção Total de Eletricidade [7]

Ao analisar o contributo das energias renováveis na produção total de eletricidade em Portugal (**Figura 3**), é possível concluir que o peso da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis tem vindo a sofrer um aumento ao longo dos últimos anos, apesar de sofrer bastantes oscilações. Estas oscilações poderão ser explicadas, com base no grande contributo que a energia hídrica apresenta na totalidade de produção desenvolvida pelas energias renováveis no que respeita à energia elétrica (**Figura 4**).

Tal como foi anteriormente referido, é possível verificar que a produção de eletricidade em Portugal tem sofrido ligeiras alterações, levando a que as energias renováveis venham a assumir um papel de maior destaque nesta produção energética total, a partir de 2008 (**Figura 3**).

A energia hidroelétrica apresenta-se como sendo o vetor energético de maior contributo na produção de eletricidade a partir de fontes renováveis (**Figura 4**). Com base nesses dados é possível verificar até que ponto a importância dos recursos hídricos é ou não relevante para assegurar parte das necessidades energéticas do país, constatando-se facilmente que a pequena hídrica (< que 10 MW) assume um lugar pouco considerável na produção de eletricidade.

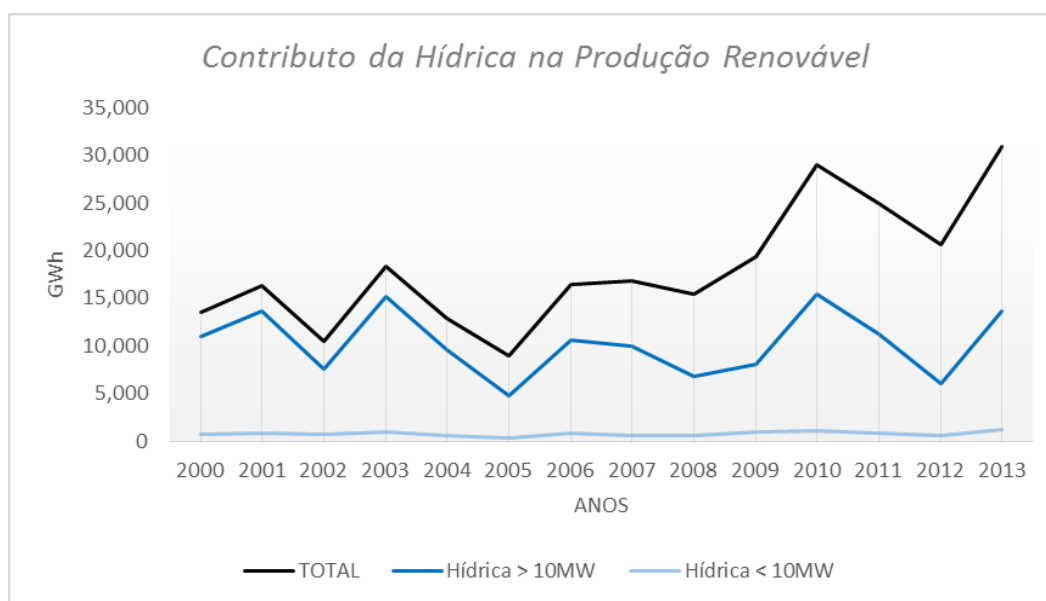


Figura 4 - Contributo da Produção Hídrica nas Energias Renováveis [7]

É importante referir que a energia hídrica produzida em grandes aproveitamentos representa cerca de dois terços da energia proveniente de fontes renováveis, pelo que deverá ser um ponto de análise com bastante interesse do ponto de vista da sustentabilidade energética, tal como referido no início deste subcapítulo.

Note-se que para o período de 2005 a 2013 há um distanciamento mais acentuado entre as curvas de produção hidroelétrica e de produção total por fontes renováveis, sendo esta tendência de afastamento justificável pelo maior contributo da energia eólica (**Figura 2**).

A *Rede Elétrica Nacional*, no seu relatório sobre a Hidroeletricidade em Portugal, aponta como aspeto fundamental deste vetor energético, a cobertura rápida das horas de ponta no diagrama de cargas, motivo pela qual existe um apoio sustentado à energia hidroelétrica. No documento supra citado, é ainda apontada a importância da água como recurso natural, sendo cada vez mais importante otimizar a sua utilização, dotando a captação energética de sistemas cada vez mais eficientes, podendo ainda vir a ser conjugados com outros vetores energéticos, como o caso da energia eólica, presente nas barragens reversíveis [14].

Das diversas fontes de energia renovável que contribuem para o balanço energético, a energia hídrica ocupa um lugar de destaque, como sendo o vetor de maior peso (**Figura 5**).

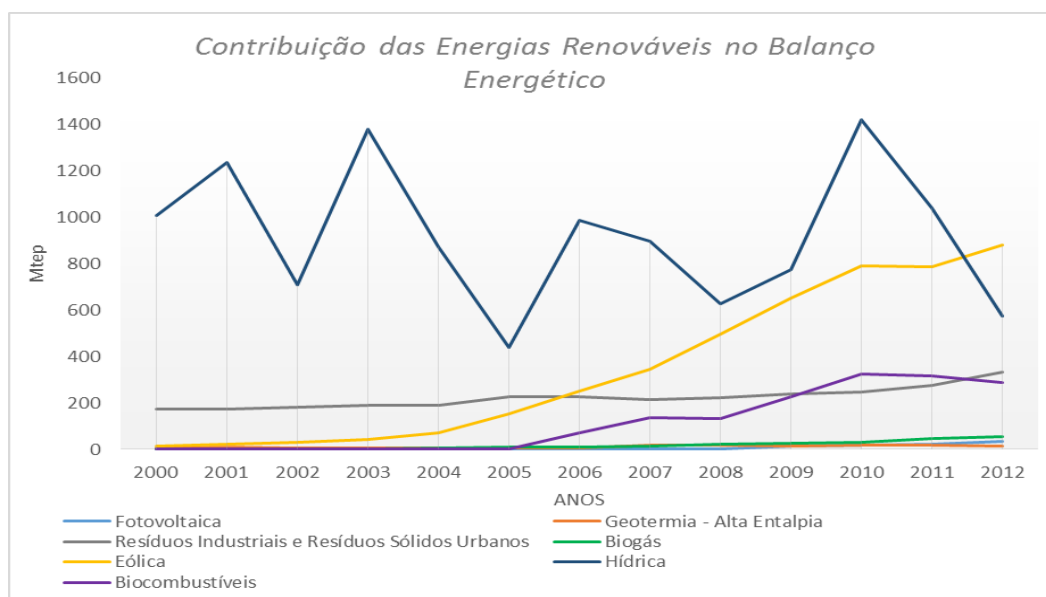


Figura 5 - Contributo das Energias Renováveis no Balanço Energético [7]

A energia geotérmica, a energia fotovoltaica e o biogás possuem um contributo muito pouco apreciável para o balanço energético, evidenciando valores praticamente residuais (**Figura 5**).

O peso da energia eólica no balanço energético do país sofreu um aumento progressivo até 2010, denotando a partir daqui um contributo menos significativo. Saliente-se também o facto dos biocombustíveis, que surgem só em 2006, ganharem uma proporção relativamente considerável, acabando posteriormente por entrar em ligeiro declínio a partir de 2010.

A energia proveniente da combustão de resíduos industriais e de resíduos sólidos urbanos toma valores constantes ao longo do período de análise.

A energia hidroelétrica, como referido anteriormente, adquire um comportamento instável devido à ocorrência de anos mais ou menos chuvosos. No entanto, ganha grande importância no contributo para o balanço energético do país, sendo claramente o recurso que mais se destaca no contributo para o balanço energético do país [15]. Quando conjugada com a energia eólica, pode assegurar grande compromisso na produção de eletricidade de forma contínua e praticamente estável [14].



2.2. DIRETIVA 2000/60/CE DE 23 DE OUTUBRO – QUADRO DA ÁGUA

A *Diretiva Quadro da Água* (DQA) surge com a necessidade de criar um instrumento capaz de assegurar a qualidade e a preservação dos recursos hídricos, atuando ao nível da bacia hidrográfica.

Uma vez que a maior parte das grandes bacias hidrográficas que afluem em Portugal Continental têm origem em Espanha, ou seja, bacias hidrográficas que comportam águas internacionais, importa referir que estas são também obrigadas a cumprir os objetivos enunciados e de forma coordenada comumente para toda a região hidrográfica.

Objetivamente, a *Diretiva Quadro da Água*, visa integrar a proteção e a gestão sustentável da água em várias políticas comunitárias. Para o presente estudo, saliente-se o facto de a DQA interferir também na gestão de recursos hídricos com fins energéticos.

A interação da água com os ecossistemas será um fator indicativo da vulnerabilidade destes mesmos quando localizados perto da costa, estuários, e em bacias ou mares relativamente fechados, uma vez que o seu equilíbrio depende em grande parte da qualidade das águas interiores que os afluem [3].

A produção energética a partir de meios hídricos assume um papel de grande importância económica e social, devido às suas características diferenciadoras dos restantes vetores energéticos e ainda ao potencial que se encontra armazenado. Nesse sentido, pode enquadrar-se a produção hidroelétrica como o uso de água não consumptivo, ou seja, a água é utilizada para a produção de energia elétrica, sem que haja um consumo efetivo deste recurso.

A DQA realça a importância deste tipo de consumo, uma vez que não representa um consumo efetivo, mas aponta a vulnerabilidade de que os meios de aproveitamento carecem, uma vez que há uma retenção significativa de água. Essa reserva de água, muitas vezes por períodos prolongados, traz também uma preocupação acrescida; quer com o desnível de água causado a montante da albufeira que se irá traduzir também numa escassez a jusante, quer com o estado químico e bioquímico da água, podendo interferir com a qualidade dos ecossistemas envolventes [16].



Os *Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica* cabem a cada Estado-Membro ou a um conjunto de Estados-Membros, no caso de se tratarem de regiões hidrográficas internacionais. O seu objetivo é descrever a bacia e criar uma ferramenta de análise à qualidade da água.

O plano de gestão de cada bacia hidrográfica deverá incluir:

- A descrição geral das características da região hidrográfica ao nível da localização e dos limites das massas de água, das eco-regiões e dos tipos de massas de água de superfície de cada bacia hidrográfica, e da identificação das condições de referência para os vários tipos de massas de água de superfície;
- Uma breve descrição das pressões e impactos significativos da atividade humana no estado das águas de superfície e das águas subterrâneas, que deverá incluir a estimativa das fontes de poluição (tópicas e difusas) acompanhada de uma breve descrição dos usos do solo, e a estimativa das pressões sobre o estado quantitativo das águas, incluindo captações;
- A identificação e localização das zonas protegidas;
- Um mapa de redes de monitorização criadas, e a apresentação, sob a forma de mapa, dos resultados encontrados;
- Uma lista dos objetivos ambientais estabelecidos para as águas de superfície, bem como para as zonas protegidas;
- Um resumo da análise económica das utilizações da água;
- O resumo do programa ou programas de medidas adotados, incluindo os modos e os objetivos estabelecidos na execução da legislação comunitária em função da proteção dos recursos hídricos;
- Um registo de quaisquer outros programas e planos de gestão pormenorizados relativos à gestão hidrográfica que tratem de sub-bacias, setores, problemas ou tipos de águas específicos, que devem ser acompanhados pelos respetivos resumos de conteúdos [3].



2.3. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL ÀS MINI-HÍDRICAS

Os aproveitamentos energéticos, dada a sua implicação na sociedade, carecem de legislação que os enquadre e limite, sob o ponto de vista da explorabilidade e exequibilidade. Qualquer que seja o cariz em que se insira determinado tipo de projeto, carece de diplomas legislativos que o enquadrem e orientem sob forma de o incluírem naqueles que são os objetivos do país.

Atualmente, o aproveitamento energético, nomeadamente o aproveitamento de fontes energéticas renováveis, surge enquadrado numa série de diplomas legais, como são o caso do Plano Nacional para as Alterações Climáticas e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis. Mas, dada a grande abrangência destes diplomas, há a necessidade de enquadrar o aproveitamento hidroelétrico sob o ponto de vista do aproveitamento energético, licenciamento e exequibilidade dos projetos [17],[18].

Uma vez que existe um vasto número de diplomas legais associados ao aproveitamento hidroelétrico, torna-se necessário destacar aqui apenas aqueles que têm maior relevância no enquadramento do estudo que se apresenta.

No seguimento daquilo que se encontra supra citado, serão analisados os diplomas que se seguem:

- **Decreto-Lei nº 126/2010 de 23 de Novembro** – referente ao regime de implementação de aproveitamentos hidroelétricos com uma potência instalada inferior a 20 MW [19].
- **Decreto-Lei nº 226-A/2007 de 31 de Maio** – que estabelece novas regras de utilização de recursos hídricos, motivando um relacionamento entre o Estado e os utilizadores de recursos hídricos, e favorecendo as atividades económicas aqui inerentes [20].
- **Portaria nº 295/2002 de 19 de Março** – onde são criadas as novas regras para obtenção de licenças necessárias à produção de energia hidroelétrica, em pequenos aproveitamentos [21].



2.3.1. DECRETO-LEI Nº 126/2010 DE 23 DE NOVEMBRO

O presente documento, estabelece o regime de implementação de aproveitamentos hidroelétricos, destinados à captação de água com destino à produção de energia elétrica, numa potência instalada inferior a 20 MW. Este diploma prevê a atribuição dos seguintes aspetos:

- Título de utilização privativa de recursos hídricos de domínio público;
- Reserva da capacidade de injeção de potência na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP);
- Identificação de pontos capazes de consumir a energia produzida nos aproveitamentos em questão.

O método de seleção de projetos caberá a membros do governo dos domínios do estudo, sendo a decisão final da responsabilidade do presidente da Administração da Região Hidrográfica (ARH) onde se insere o projeto.

Este diploma ressalva o prazo de concessão e obriga ao pagamento de uma contrapartida financeira por parte do adjudicatário. O prazo de exploração estende-se por um período de 45 anos e a contrapartida é calculada em função da potência. O regime remuneratório da energia entregue à rede será calculado em função de um *coeficiente Z* variável com a potência instalada (**Equação 1**).

Equação 1 - Cálculo da Remuneração Aplicável a Centrais Renováveis

$$VDR_m = KMHO_m \times [PF(VDR)_m + PA(VDR)_m \times Z] \times \left[\frac{IPC_{m-1}}{IPC_{ref}} \right] \times \left[\frac{1}{1(1 - LEV)} \right]$$

VDR_m – remuneração aplicável a centrais renováveis, no mês *m*;

KMHO_m – coeficiente que modula os valores de *PF(VDR)_m*, de *PV(VDR)_m*, e de *PA(VDR)_m* em função do posto horário em que a eletricidade tenha sido fornecida;

PF(VDR)_m – parcela fixa associada à remuneração em centrais renováveis;

PV(VDR)_m – parcela variável associada à remuneração em centrais renováveis;

PA(VDR)_m – parcela ambiental associada à remuneração em centrais renováveis;

IPC_{m-1} – índice dos preços no consumidor, referente ao mês *m-1*;

Z – coeficiente que traduz as características do aproveitamento energético;

IPC_{ref} – índice de preços no consumidor, referentes ao mês anterior ao início do fornecimento de eletricidade;

LEV – representa as perdas nas redes de transporte e distribuição, evitadas pela central renovável [19].



2.3.2. DECRETO-LEI Nº 226-A/2007 DE 31 DE MAIO

O presente Decreto-Lei cria um maior incentivo à valorização das atividades económicas inerentes ao uso da água, com a atribuição de licenças de utilização de recursos hídricos. Essa atribuição de licenças está sujeita à aplicação de dois tipos de cauções, tal como surge mencionado no *artigo 22º*, em função do tipo de infraestruturas utilizadas na captação de água.

Se forem empregues infraestruturas fixas, como será o caso dos aproveitamentos energéticos, o proprietário será obrigado ao pagamento de uma caução de recuperação ambiental, compreendida entre 0,5 e 2% do valor da obra. Por outro lado, tratando-se de estruturas amovíveis, o proprietário será obrigado ao pagamento de uma caução de obrigação de implantação das infraestruturas, que será calculada em 5% do valor total da obra.

A captação de águas, como disposto no *artigo 40º*, será interpretada como sendo a utilização de volumes de água sem a sua retenção, nomeadamente para consumo humano, rega, atividade industrial, produção de energia elétrica e atividades recreativas ou de lazer.

No que respeita à utilização de água para produção de energia elétrica, é disposto no *artigo 45º* que as águas públicas para a produção energética serão concessionadas em função do Plano Nacional da Água e do Plano de Gestão da Bacia Hidrográfica, no âmbito dos aproveitamentos energéticos.

No *nº2 do artigo 92º* é descrito que o valor do equilíbrio económico-financeiro, para os centros electroprodutores é definido em despacho concebido por membros do Governo, das áreas do ambiente e energia, em função do contrato a celebrar entre o Estado, a entidade concessionária da Rede Nacional de Transporte (RNT) e os titulares dos centros electroprodutores.

O valor do equilíbrio económico-financeiro a que se refere o *nº2 do artigo 92º*, pago pelos titulares dos centros electroprodutores, destina-se a beneficiar os consumidores de energia elétrica através da redução do défice tarifário, da estabilização de tarifas e de outras medidas de política energética.

Os valores dos montantes referidos no parágrafo anterior serão definidos pelo membro do Governo responsável pela área da energia [20].



2.3.3. PORTARIA Nº 294/2002 DE 19 DE MARÇO

A presente portaria regula o procedimento de obtenção de licenças necessárias para a produção de energia hidroelétrica de pequenas centrais hidroelétricas, bem como o estabelecimento das taxas a que os pequenos aproveitamentos hídricos se encontram sujeitos.

No *artigo 3º* são mencionadas as licenças das quais carece o aproveitamento hidroelétrico, nomeadamente: licença de construção de infraestruturas hidráulicas, licença de estabelecimento de instalações elétricas, licença de utilização da água para fim energético e licença de exploração.

No presente diploma encontram-se instauradas as taxas referentes ao licenciamento, construção e operação, das quais requerem os pequenos aproveitamentos hidroelétricos. Neste seguimento, no *nº2 do artigo 41º*, a Direção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território (DRAOT) apresenta as seguintes taxas, designadamente: parecer de informação prévia (250€), apreciação do estudo de viabilidade económica (1500€) e emissão de licença de construção (1500€). Estabelece ainda que, para os projetos dispensados de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), são aplicadas as taxas referentes ao inquérito público (250€) e de apreciação do estudo de incidências ambientais (400€).

Importa salientar que no *nº5* do artigo supra mencionado, são apresentadas as taxas relativas às vistorias aquando da construção (250€ por vistoria, num total de duas por ano) e ainda uma taxa de exploração anual (250€).

No *Anexo II* da presente Portaria, conducente ao estudo de viabilidade técnico-económica, são apresentados os pontos em que deve incidir o documento. No entanto, saliente-se a *alínea b*, onde são mencionadas as exigências do estudo hidrológico e das disponibilidades hídricas.

Notem-se as seguintes exigências: área da bacia hidrográfica em relação ao local da barragem, identificação da distribuição de caudais e do caudal de cheia, identificação das utilizações de domínio hídrico existentes e previstas na área de domínio do aproveitamento e indicação dos consumos de água, incluindo o caudal.

São ainda exigidas as estimativas de custos associados, o estudo de produção energética e a rentabilidade do projeto [21].



2.4. O FOMENTO DA HIDROELETRICIDADE EM PORTUGAL

O aproveitamento hidroelétrico em Portugal tem sofrido um claro aumento, levando a que haja um maior contributo deste vetor energético na produção total de eletricidade [22]. Nesse contexto surge em 2010 a *Resolução do Conselho de Ministros nº 29/2010*, na qual se encontra inserida a *Estratégia Nacional para a Energia 2020* (ENE 2020), procurando criar ferramentas capazes de combater a dependência energética externa, e acabando por promover a eficiência energética do país.

O ponto 2, intitulado *Aposta nas Energias Renováveis*, refere o contributo notável da energia hídrica e eólica, como fonte renovável de energia, incentivando a que haja uma aposta sustentada em tecnologias mais eficientes e ainda a promoção de investigação neste campo [4].

Note-se o claro compromisso por parte do Estado na “*agilização de atribuição de potência a projetos de demonstração em novas tecnologias visando usar os resultados desses projetos para fundamentar as opções de expansão da capacidade*”.

No que respeita à energia hídrica, considera-se fundamental a sua aposta, reforçando a potência instalada, perfazendo 8,6 GW instalados até 2020, contra 4,9 GW registados em 2007. O reforço de potência entra no Âmbito do Plano Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH), o qual visa promover o aproveitamento hídrico de uma forma mais eficiente, levando a uma clara viabilização do excesso de produção eólica, e ao aparecimento do conceito de barragem reversível [4].

A ENE 2020, procura fomentar a energia hidroelétrica, conjugando a sua aposta com a viabilização do excesso de produção de eletricidade em parques eólicos durante as horas de vazio. Isto será possível, recorrendo à reversibilidade das barragens, e aproveitando o excesso de produção eólica para bombear a água turbinada para montante da albufeira.

No campo específico da Mini-Hídrica, o objetivo passará pelo pleno aproveitamento da sua capacidade, aumentando a capacidade instalada em 250 MW até 2020, com a atribuição de concessões de acordo com o plano estratégico de licenciamento [4].



2.4.1. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO EM GRANDES HÍDRICAS

O aproveitamento energético verificado em grandes hídricas poderá ser descrito como sendo a utilização de uma massa de água armazenada a montante de uma albufeira, contendo energia potencial, que ao provocar trabalho numa turbina hidráulica, sob a forma de energia cinética, originará o movimento rotativo de um veio acoplado e um grupo gerador de energia. Num centro electroprodutor, o veio da turbina estará acoplado a um alternador, que por sua vez transformará a energia mecânica do veio em energia elétrica sob forma de corrente alternada, capaz de ser injetada na rede elétrica nacional, depois de passar por uma série de equipamentos capazes de garantir a qualidade de onda sinusoidal produzida [23].

Poderá descrever-se o processo hidroelétrico como sendo um conjunto de transformações de energia. Primeiramente de energia potencial para cinética, provocando trabalho numa turbina. Depois a energia mecânica do veio será transformada em energia elétrica no alternador de corrente acoplado à turbina, para posterior injeção na rede [24].

A) BARRAGENS CONVENCIONAIS

As barragens convencionais consistem numa estrutura transversal ao leito do rio, provocando uma retenção de água, e levando a que haja um aumento considerável da energia potencial acumulada. O desnível verificado a montante da albufeira levará a que a energia potencial armazenada, quando descarregada se transforme em energia cinética, provocando trabalho numa turbina e levando à produção de eletricidade [25].

B) BARRAGENS REVERSÍVEIS

As barragens reversíveis tem a particularidade de bombear a água nas horas de vazio, de uma albufeira secundária a jusante da principal para montante da albufeira principal, levando a que a água volte a provocar trabalho nas turbinas e assim haja nova produção de energia elétrica, neste caso com o mesmo fluido [26].

A energia utilizada para bombear a água poderá ser consumida da rede durante as horas de vazio e, por isso mesmo, é taxada a preços mais baixos do que energia produzida durante as horas de ponta. Uma outra alternativa será o aproveitamento do excedente energético dos parques eólicos, viabilizando o seu investimento, tornando-os mais eficientes e sustentáveis do ponto de vista energético [27].



2.4.2. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO NAS MINI-HÍDRICAS

As centrais mini-hídricas surgiram como forma de garantir um abastecimento mais eficiente de energia elétrica à rede, estabelecendo o conceito de produção energética descentralizada. Proporcionaram ainda um aproveitamento de água mais eficiente, levando ao aumento da parcela energética explorada [28].

No âmbito do projeto de pequenas centrais hídricas, pode afirmar-se que existe um grau de inovação considerável em relação aos grandes aproveitamentos, nomeadamente no que toca à redução de custos, à maior fiabilidade e à simplicidade de operação.

É ainda importante referir que as pequenas centrais hídricas poderão entender-se como um sistema compacto e simples de instalar, acabando por facilitar o projeto. No que respeita às turbinas hidráulicas, destaca-se como principal característica o melhoramento de rendimentos, com possibilidade de utilização de alturas de queda mais reduzidas. Ainda, no que diz respeito aos grupos geradores, salienta-se que são adotados conversores mecano-elétricos, com especial relevo na utilização da máquina assíncrona e na automatização total das instalações [29].

A) CLASSIFICAÇÕES E ENQUADRAMENTO DE MINI-HÍDRICAS

A classificação de pequenas centrais hídricas poderá ser enquadrada em três parâmetros: potência instalada, altura de queda e capacidade de armazenamento.

O limite pelo qual se distinguem as pequenas centrais hídricas, relativamente aos grandes aproveitamentos, está referenciado numa potência instalada de 10 MW, no entanto, entre si podem ser classificadas em três categorias [29].

As pequenas centrais hídricas poderão ser classificadas quanto à potência instalada (**Quadro 1**) e à altura de queda bruta (**Quadro 2**).

Quadro 1 - Classificação de pequenas centrais hídricas quanto à potência [28]

Designação	P_{inst} (MW)
Pequena central hídrica	<10
Mini central hídrica	<2
Micro central hídrica	<0,5

Quadro 2 - Classificação de pequenas centrais hídricas quanto à sua altura de queda, h_u [28]

Designação	h_u (m)
Queda baixa	2-20
Queda média	20-150
Queda alta	>150

Quanto à capacidade de armazenamento, as pequenas centrais hídricas ainda poderão ser divididas em *centrais a fio de água* e *centrais com regularização*.

As *centrais a fio de água* não têm capacidade de regularizar o caudal, pelo que o caudal utilizável será aquele que se verificará no leito do rio, em determinado momento. Note-se que em períodos de cheia ou épocas de seca a produção será muito reduzida ou mesmo nula. As *centrais com regularização* possuem uma albufeira que lhe irá conferir uma certa adaptação do caudal de afluente, deixando de haver preocupação acrescida com períodos de cheia e épocas de seca [29].

Na **Figura 6**, estão apresentados os principais elementos que compõe a estrutura típica de uma pequena central hídrica [30].



Figura 6 - Principais Elementos de Uma Central Mini-Hídrica [30]



2.5. TURBINAS HIDRÁULICAS

A escolha de uma turbina hidráulica adquire assinalável importância num projeto mini-hídrico, uma vez que representa cerca de metade do investimento, pelo que a sua escolha deverá ser bastante criteriosa [28].

A seleção de uma turbina, com aplicação numa central mini-hídrica, deverá ocorrer tendo em atenção três critérios principais: potência, caudal e queda útil. A relação entre o caudal e a queda útil apresenta uma relação inversa para determinada potência (Figura 7).

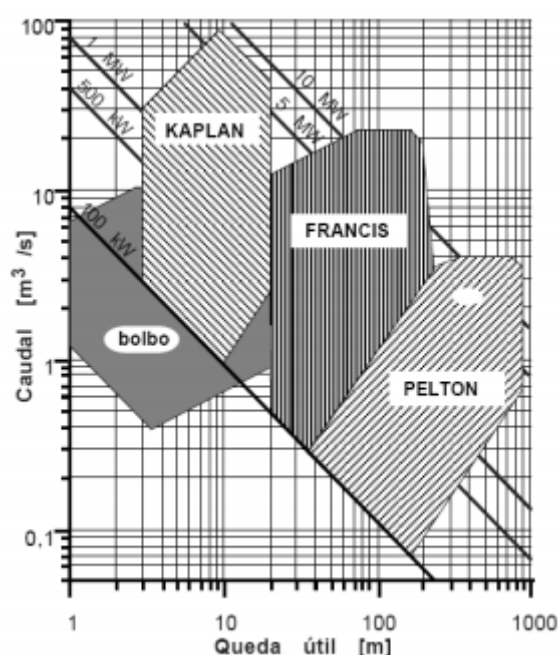


Figura 7 - Gráfico de seleção de turbinas para pequenas centrais hídricas [31]

Como se pode verificar na tabela gráfica apresentada acima, a escolha da turbina mais adequada a determinado tipo de situação será função da altura de queda útil e do caudal médio anual, podendo afirma-se que para caudais baixos, só as Turbinas Pelton poderão ser aplicadas, mas em quedas úteis médias, ou seja, de 20 a 150 metros de queda útil.

As turbinas hidráulicas, com aplicação a pequenas centrais hídricas, podem ser divididas em dois tipos: *turbinas de ação* e *turbinas de reação*. As *turbinas de ação* são as mais adequadas para utilização de locais caracterizados por quedas relativamente elevadas e caudais baixos. As *turbinas de reação* são apontadas para utilização de locais com quedas baixas e caudais elevados [29].

2.5.1. TURBINAS DE AÇÃO

As *Turbinas Pelton* (**Figura 8**), são caracterizadas por utilizarem a velocidade do fluxo de água para provocar o movimento de rotação. Possuem um disco circular em que, na sua periferia, se encontram acopladas conchas sobre as quais incide, tangencialmente, um jato de água proveniente de um ou mais injetores distribuídos uniformemente no corpo externo da turbina [32].

Este tipo de turbinas serão as mais indicadas para quedas intermédias, correspondentes a gamas que poderão oscilar entre os 20 e os 100 metros, e potências situadas na gama dos 50 aos 500 kW [33].



Figura 8 - Turbina Pelton [33]

As *Turbinas Banki-Mitchell* (ou cross-flow) surgem em utilizações de baixa potência, mas com aplicação numa gama de caudais bastante variada. Apesar de possuírem rendimentos inferiores aos restantes tipos de turbinas, permitem mante-lo relativamente elevado ao longo de uma extensa gama de caudais [28].

Estas turbinas, apresentam veios horizontais (**Figura 9**) e uma velocidade de rotação diminuta, pelo que se torna comum encontrar multiplicadores de velocidade entre a turbina e o grupo gerador. Note-se ainda a possibilidade de otimização do seu rendimento, aquando da criação de uma diferença de pressão (vácuo parcial) entre o canal de admissão e o canal de restituição da turbina [32].



Figura 9 - Modelo de uma turbina cross-flow [34]



2.5.2. TURBINAS DE REAÇÃO

As *Turbinas Francis* (**Figura 10**) são equipamentos indicados para operação em condições intermédias no que respeita à queda útil e ao caudal de funcionamento. São caracterizadas por possuírem uma roda formada por uma coroa de aletas fixas, capazes de constituírem uma série de canais hidráulicos que recebem a água radialmente e a orientam para a saída do rotor numa direção axial [29],[32].

Estas turbinas, tem uma aplicabilidade bastante otimizada em diferentes quedas e caudais, podendo ainda afirmar-se que, quando comparadas com as *Pelton*, possuem rendimentos máximos mais elevados, maiores velocidades e menores dimensões [35].



Figura 10 - Turbina Francis [35]

As *Turbinas Kaplan* e *Hélice* (**Figura 11**) são, geralmente, indicadas para funcionamentos onde haja uma queda útil baixa, com a existência de caudais elevados. Caracterizam-se por uma câmara de entrada, um distribuidor e uma roda com quatro ou cinco pás em forma de hélice [32].

As *Turbinas Kaplan*, quando comparadas com as *Turbinas Hélice* têm maior versatilidade, uma vez que tem a possibilidade de regulação, quer do distribuidor quer do ângulo de ataque das pás do rotor [36].

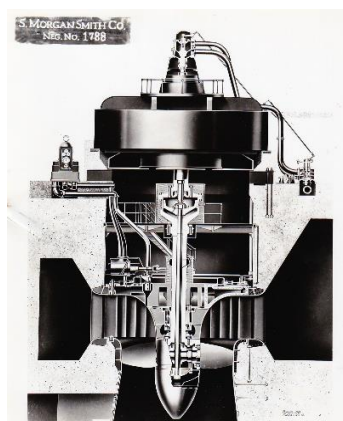


Figura 11 - Esquema de uma Turbina Kaplan [36]



2.6. ELEMENTOS ELETROMECAÂNICOS

A conversão da energia mecânica proveniente do trabalho exercido no veio da turbina faz-se por meio de um conversor eletromecânico, em que a sua escolha dependerá diretamente das condições impostas à turbina, nomeadamente: rendimento, velocidades nominal e de embalamento, e tipo de regulação [29].

A escolha do equipamento eletromecânico prende-se entre duas tecnologias distintas entre si, ou seja, a máquina síncrona ou a máquina assíncrona. Regra geral, a máquina assíncrona constitui a solução técnica e económica mais vantajosa, devido à sua robustez [28].

Uma vez que a maior parte das centrais mini-hídricas possui uma queda baixa, originará uma baixa velocidade de rotação ao veio da turbina, levando à utilização de multiplicadores de velocidade. Os multiplicadores de velocidade serão necessários para aumentar a velocidade nominal de rotação do veio, e assim, diminuir o número de polos. Este facto reduz o custo da máquina, uma vez que quando menor for o número de polos menos dispendiosa será a máquina, tornando a situação mais vantajosa do ponto de vista do investimento financeiro [37].

A solução supra apresentada evidencia alguns inconvenientes uma vez que implica a redução do rendimento, o que se traduz numa redução da energia produzida. De referir ainda a maior necessidade de manutenção e menor grau de fiabilidade, devido à existência de uma caixa de engrenagens para multiplicação de velocidade [38]. Considerando estas condicionantes, há uma maior facilidade em adotar a máquina síncrona, ou alternador de corrente, acabando por constituir a maioria dos aproveitamentos hidroelétricos, dispensando os sistemas de multiplicação de velocidade [28].

Referindo ainda vantagens da máquina assíncrona, saliente-se o facto de dispensar um sistema de excitação, sendo esta energia fornecida pela rede à qual o grupo se encontra ligado. Esta vantagem apresenta o inconveniente do gerador assíncrono absorver energia reativa, devendo esta ser localmente gerada por meio de uma bateria de condensadores, para evitar que esta energia seja injetada na rede à qual o grupo electroprodutor esteja ligado [38].

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS



3.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Com um pequeno percurso pela história da humanidade é possível verificar que o Homem sentiu necessidade, desde muito cedo, de organizar a desordem pela qual a natureza se encontrava, para que fosse possível compreender o espaço em que se encontrava inserido. Pode, desta forma, afirmar-se que a informação geográfica surge assim como um elemento necessário e sem o qual se tornava difícil compreender, modificar ou ordenar o espaço ocupado [39].

A crescente necessidade de cruzar informação contida nas diversas cartas temáticas referentes às diferentes áreas do conhecimento deu lugar ao conceito de análise integrada, onde foram deixadas de lado as análises individuais, e dando lugar a uma interdisciplinaridade de conhecimentos capazes de gerar análises mais completas e abrangentes.

A ideia de adequar as ciências computacionais à produção de mapas, para uma posterior análise e síntese de informação, pertenceu a *Howard T. Fisher*, em 1963. *Fisher* foi um arquiteto e urbanista norte-americano, reconhecido pela criação dos primeiros programas de mapeamento, capazes de realizar operações rápidas em análises de dados espaciais [40].

Com a aquisição de dados provenientes de sensores remotos, a avaliação dos recursos à superfície da Terra e a cartografia, surgiram os instrumentos conhecidos como *Sistemas de Informação Geográfica* (SIG). Os SIG são, assim considerados, como a evolução das várias aplicações dirigidas ao mapeamento, à análise espacial e à captura de dados automatizada. Estes factos levam a concluir que os SIG são uma base de trabalho multidisciplinar [39].

De uma forma sumária, é possível afirmar que com o surgimento dos SIG passou a ser possível integrar, gerir e analisar diferentes tipos de informação geográfica, tais como mapas, imagens e textos, de forma integrada numa base de trabalho única [40].

A expressão “*Sistemas de Informação Geográfica*” surge frequentemente associada à ciência computacional com orientação geográfica e aos sistemas integrados usados em aplicações substantivas. Recentemente, é tida como um fator muito



pertinente no apoio à tomada de decisões. Numa análise mais ampla, os SIG poderão ser considerados como casos especiais dos sistemas de informação.

Neste seguimento, torna-se importante referir algumas das propriedades que modelam estes sistemas e nos quais os SIG se encontram inseridos. Saliente-se que a informação deverá ser cuidadosamente organizada, de modo a que o seu acesso seja gerido e cuidadosamente regulado. Note-se ainda que deverá haver uma manutenção do sistema e atualização da informação em tempo oportuno [40].

A definição de Sistemas de Informação Geográfica não é objetiva, no entanto é possível estabelecer uma relação entre estes sistemas e os restantes sistemas computacionais, nomeadamente o desenho assistido por computador, a cartografia automática, a gestão de bases de dados e a deteção remota. Os SIG são muitas vezes abordados como sendo um superconjunto, de todos estes subsistemas dos sistemas de informação [39].

Da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) surge uma definição para SIG, estabelecendo como sendo “*um conjunto organizado de hardware, software, dados geográficos e recursos humanos selecionados para eficientemente recolher, armazenar, atualizar, utilizar, analisar e visualizar todo o tipo de informação georreferenciada*” (ESRI, 1997).

3.1.1. FUNCIONALIDADE DOS SIG

Um Sistema de Informação Geográfica consiste na interação de cinco funcionalidades compreendidas entre si:

- Aquisição e verificação da informação;
- Armazenamento e gestão de informação;
- Apresentação de resultados;
- Transformação de dados;
- Interação com o utilizador.

A *aquisição e verificação da informação* compreende todos os aspetos relacionados com a transformação de dados recolhidos sob a forma de mapas, observações de campo e sensores remotos, para formato digital. Pode afirmar-se que existe, ainda, uma grande quantidade de informação nas bases de dados geográficos oriunda da cartografia em formato de papel [39].



O *armazenamento e gestão da informação* está diretamente relacionado com a forma de como os diferentes tipos de dados adquiridos se encontram estruturados e organizados. Em cada secção de dados, a informação encontra-se organizada em camadas, temas ou coberturas, de modo a que o sistema permita impor uma série de constrangimentos às diferentes classes, e levando a que haja uma melhor estruturação da informação pretendida [40].

A *apresentação de resultados* diz respeito à forma de como os dados são apresentados e ainda aos resultados das análises realizadas com esses mesmos dados. As várias formas de apresentação da informação poderão ser mapas, matrizes, gráficos, entre outros [39].

A *transformação de dados* inclui em si dois tipos de operações:

- Transformações necessárias para correção de erros e atualização de dados;
- Aplicação de métodos de análise aos dados com o objetivo de responder às necessidades do utilizador.

Este tipo de operações poderá incidir sobre aspetos espaciais, não-espaciais ou ambos, acabando por simplificar tarefas, que pelos métodos tradicionais seriam demasiado complexas. São estas capacidades de manipulação de dados, muito dirigidas para a análise de relações e padrões geográficos, que distinguem estes sistemas de informação dos restantes sistemas computacionais [40].

A *interação do sistema com o utilizador* está necessariamente ligada com o facto de haver uma interface gráfica entre a manipulação de dados e o utilizador, oferecendo-lhe um acesso imediato à informação pretendida e a própria comparação de dados em tempo oportuno [39].



3.2. INFORMAÇÃO GEORREFERENCIADA

Os dados georreferenciados tem um grau de complexidade superior aos dados dos restantes sistemas de informação, devido essencialmente à necessidade de inclusão de informação relativa à sua posição, ligações topológicas e atributos das entidades que representam.

3.2.1. POSIÇÃO GEOGRÁFICA

A posição geográfica, designada também por *atributo de primeiro nível*, é criada automaticamente pelos SIG. Esta informação é referenciada pela sua localização na superfície terrestre através de um sistema de coordenadas padrão.

Importa referir que os SIG obrigam à utilização de um sistema de coordenadas comum para o tratamento de um mesmo conjunto de dados geográficos, para que seja possível analisar as relações espaciais [40].

3.2.2. ATRIBUTOS

Os atributos têm origem no utilizador, podendo estar relacionados com dados obrigatórios comuns a qualquer sistema de georreferenciação (divisões políticas, hidrografia, entre outras), e ainda poderão incluir informações das mais vastas áreas do conhecimento (questões económicas, utilização do solo, entre outras) [40].

3.2.3. RELAÇÕES ESPACIAIS

As relações espaciais entre diferentes ocorrências tomam uma importância extrema uma vez que darão informação sobre localização e estabelecem simultaneamente as relações entre a vizinhança, podendo tomar graus de complexidade acrescidos [39].

3.2.4. TEMPO

A informação geográfica é sempre referente a um determinado ponto, num período temporal específico. Importa haver um conhecimento dos diferentes períodos temporais em que foram recolhidos os dados geográficos, de forma a que seja possível realizar atualizações de dados e ainda verificar ocorrências históricas e padrões evolutivos [40].



3.3. APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

O conjunto formado pelos recursos humanos e materiais, e pela informação necessária à construção de um Sistema de Informação Geográfica poderá ser composto por dois níveis de complexidade distintos: Utilização de SIG em Projetos Geográficos e Gestão de Projetos em SIG.

A *Utilização dos SIG em Projetos Geográficos* tem como objetivo a resolução de um determinado problema, invocando os esforços na recolha de informação e nas operações de análise espacial.

A *Gestão de Projetos em SIG* prende-se com a preocupação na segurança, integridade, conceção e desenvolvimento de ferramentas específicas de utilização, distribuição e manutenção dos dados [40].

3.3.1. UTILIZAÇÃO DOS SIG EM PROJETOS GEOGRÁFICOS

- **Repositório de informação e produção de cartogramas** – utilização de SIG para suporte de informação e produção de cartogramas, com quase ausência de operações de análise espacial;
- **Localização** – capacidade de determinar de uma forma mais eficiente a localização para um determinado fim. Este tipo de análise compreende *quatro fases*: identificação de caraterísticas que favoreçam ou prejudiquem determinada localização, modelação espacial das caraterísticas, desenvolvimento de soluções alternativas e avaliação das várias soluções geradas;
- **Zonamento** – operações com uma natureza idêntica às de localização, mas apresentando aspetos mais específicos, como: delimitação de áreas em vez de pontos, competição de vários tipos de zonamento pelas mesmas condições e conveniência de criação de zonas compactas, homogéneas e com área significativa;
- **Modelação** – capacidade de implementar modelos físicos em suporte de SIG, a partir de uma estrutura matricial. A dificuldade deste tipo de aplicação é a complexidade e dificuldade da teoria subjacente a este tipo de operação, bem como a disponibilidade de dados necessários à conceção da matriz [39].



3.3.2. GESTÃO DE PROJETOS EM SIG

- **Reconhecimento do problema** – a construção de um SIG torna-se perceptível por meio da avaliação da qualidade e rapidez do desempenho de operações de análise de dados espaciais;
- **Definição do projeto** – a definição dos objetivos do projeto é uma tarefa que requer um conhecimento amplo dos conceitos gerais da tecnologia, para que a decisão não seja ambígua;
- **Análise de custo/benefício** – estimativa de custos de construção do sistema de informação e balanço dos benefícios que este pode trazer com a sua utilização;
- **Plano estratégico** – serve para que seja realizada uma delimitação dos objetivos do projeto, bem como a opção por uma gestão centralizada ou distribuída e ainda a definição das prioridades do sistema, desenvolvimento e funcionamento do projeto;
- **Plano de implementação** – compreende a descrição detalhada de um esquema de comunicações, base de dados, *software* e *hardware*, funcionalidades e características da informação e respetivo processo de aquisição;
- **Pedido de propostas e avaliação** – resulta da consulta de mercado para fornecimento de bens ou serviços ao sistema de informação, devendo haver um esforço considerável para que as especificações do projeto sejam concisas e completas;
- **Operação do sistema** – torna-se importante que haja uma preocupação para que não ocorram quebras de funcionamento em setores chave, assim como providenciar a realização de cópias de segurança de forma automatizada;
- **Atualização** – as componentes de operação num SIG seguem ciclos de atualização rápidas para que as versões de trabalho não se tornem obsoletas [39].



3.4. MODELAÇÃO GEOGRÁFICA

A cartografia digital veio colmatar os tradicionais constrangimentos da cartografia sobre papel, eliminando a limitação da representação e da forma de utilização, quer nos aspetos cartométricos quer no simbolismo.

A modelação geográfica resulta da síntese do conhecimento de um conjunto de dados, com o compromisso de os transpor (tanto completos quando possível) para que haja a possibilidade de os utilizar em qualquer quadro de análise [41].

A complexidade da modelação geográfica cinge-se a dois compromissos distintos entre si, para os quais qualquer modelo deve responder, nomeadamente:

- Caraterização dos conceitos associados à modelação científica e ao entendimento humano da realidade;
- Exposição da informação de forma sintetizada para facilitar a sua interpretação, no entanto, em simultâneo, deve também ser exposta em bruto para que haja possibilidade de realizar sobre si as mais diversas operações [39].

No que respeita à estrutura de representação, identificam-se três grandes grupos de necessidades de utilização:

- **Informação cadastral e infraestruturas** – modelando entidades bem definidas com suporte a operações de monitorização e gestão;
- **Planeamento e gestão de recursos naturais** – com modelação de entidades não definidas, suportando operações de monitorização e gestão casuais;
- **Modelação espacial e temporal** – baseada em entidades não definidas e sem necessidade de monitorização ou gestão;

Note-se que nas necessidades supra mencionadas não à referência aos aspetos relativos à forma de como se a informação poderá ser acedida. Nesse sentido, surgem a seguintes necessidades:

- **Visualização da informação** – em que a modelação das entidades é realizada de forma a privilegiar as relações de comunicação;
- **Navegação** – é entendida como sendo qualquer processo de utilização da informação geográfica [39].



3.5. MODELO DE TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS

A utilização de dados geográficos necessita de um Sistema de Coordenadas na origem. Uma vez que há a necessidade de utilizar diferentes tipos de dados, provenientes de diversas fontes, é necessário optar por um Sistema de Coordenadas comum a todos os dados para que haja a possibilidade de os cruzar e obter resultados fidedignos.

O *European Terrestrial Reference System 1989* (ETRS89) é um sistema global de referência estabelecido através de técnicas espaciais de observação, fixado na parte estável da Placa Euro-Asiática [41].

O estabelecimento do ETRS89 em Portugal Continental foi efetuado com base nas campanhas internacionais, que tiveram por base ligar convenientemente a rede portuguesa à rede europeia.

Mediante aquilo que se enuncia acima, justifica-se a importância da conversão dos dados de Datum Lisboa para ETRS89. Esta transformação poderá seguir o Método de Grelhas no formato NTV2 [42].

O formato NTV2 é um formato *standard* de grelhas binárias de diferenças para a transformação de coordenadas planimétricas entre dois sistemas de referência. Os parâmetros ajustados aos pontos de controlo envolventes da área de trabalho são determinados por interpolação, modelando deste modo as deformações da Rede Geodésica Nacional (RGN) no sistema de partida, o que permite obter precisões superiores às de outras transformações.

A elaboração destas grelhas utiliza 1129 vértices das RGN observados com GPS. Através de uma interpolação por *kriging*, geram-se as grelhas de diferenças entre os sistemas de coordenadas [42].

A precisão da transformação foi estimada com base em 130 vértices geodésicos, observados com GPS (**Quadro 3**).

Quadro 3 - Parâmetros de Precisão na Transformação de Coordenadas de DLx para ETRS89 [42]

DLx	
e.m.q. (m)	0,09
Máximo Absoluto (m)	0,30



3.6. MODELO IRBM – INTEGRATED RIVER BASIN MANAGEMENT

O *Integrated River Basin Management* (IRBM) pode traduzir-se como o Plano de Gestão da Bacia Hidrográfica e resulta num desenvolvimento integrado de planos de gestão de recursos hídricos, com a criação de ferramentas capazes de controlar o uso destes mesmos recursos, garantindo a sua qualidade e disponibilidade a cada ecossistema, em função das atividades nele desenvolvidas. O princípio desta gestão integrada apoia na DQA, aquando da criação de instrumentos capazes de valorizar os recursos hídricos nas suas vertes principais: ambiental, social e económica [43].

As condições climáticas e a constituição dos solos influenciam o tipo e a quantidade de vegetação existente em determinado ecossistema, no entanto, é o tipo de vegetação que limita a quantidade de água disponível. Partindo do princípio de que os recursos hídricos devem ser geridos integradamente, importa referir que as condições do solo os influenciam diretamente. Estas condições poderão centrar-se na constituição e nos tipos de solos e ainda no uso e ocupação destes mesmos solos.

Com base na eco-hidrologia, é possível sustentar que os ecossistemas e as atividades neles desenvolvidos ditarão a qualidade dos recursos hídricos, assegurando o seu bom estado ecológico. Importa referir que são os ecossistemas, os grandes responsáveis por retardar o escoamento da precipitação, com retenção e infiltração respetiva, levando a que exista uma regulação do fluxo de água nos leitos dos rios.

O modelo IRBM, apoia-se numa metodologia de planeamento paisagístico com ênfase na ecologia dos ecossistemas, numa especial adaptação às bacias hidrográficas, visando a identificação de áreas onde haja uma melhor aptidão hídrica, estando o estudo alinhado numa visão de desenvolvimento sustentável [43].

O objetivo a que este modelo se propõe passa pela divisão da bacia hidrográfica em categorias, com a atribuição de uma ponderação de importância para o potencial hídrico, resultando numa análise multicritério ponderada, em função da importância que cada categoria detém no estudo do potencial hídrico.

As classes de importância estudadas, que darão origem à divisão da bacia hidrográfica são: hidrogeologia, condições climáticas, geomorfologia, características

do solo, estabilidade dos ecossistemas florestais e ainda uso e ocupação do solo não florestal.

Para cada uma das classes mencionadas antes, há uma subdivisão nas suas características principais em função da Bacia Hidrográfica do Lima. A partir daqui, são atribuídas marcas de importância, resultando numa reclassificação dos diferentes locais que compõe a bacia hidrográfica [43].

3.6.1. CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

A *hidrogeologia* avalia o armazenamento, circulação e distribuição da água na zona saturada das formações geológicas, atendendo às suas propriedades físicas e químicas, e ainda às suas interações com o meio físico e biológico [44].

Para o cálculo do potencial hídrico importa avaliar a transmissividade existente ao longo das formações geológicas, resultando num gradiente de localizações onde ocorra uma maior ou menor de transmissão de água, de acordo com as propriedades geológicas envolventes [43].

O território de Portugal Continental encontra-se dividido em 4 unidades hidrogeológicas, sendo que a Região Norte se encontra inserida no Maciço Antigo (**Figura 12**), limitando a sua divisão em função de transmissividade à escala que se apresenta.



Figura 12 - Unidades Hidrogeológicas de Portugal Continental [45]



Uma vez que a Bacia Hidrográfica do Lima se encontra, toda ela, inserida no Maciço Antigo, a Carta Hidrogeológica não constitui uma solução para dividir o seu território. Neste seguimento, é de todo importante estudar a *Carta Geológica de Portugal Continental* e cruzar os seus dados com os fatores de transmissividade de cada formação geológica, indo de encontro aquilo que se exige.

As formações rochosas são estudadas em função da transmissividade que apresentam (**Quadro 4**), sendo-lhes atribuídas ponderações, para que seja possível encontrar um gradiente.

Quadro 4 - *Análise Ponderada às Classes Hidrogeológicas [43]*

Classificação	Formações Geológicas	Ponderação
Transmissividade Muito Alta	Areias	+2
Transmissividade Alta	Cascalheiras, Aluviões, Ampelitos, Quartzo, Xistos Negros, Tufos	+1
Transmissividade Moderada	Quartzitos, Xistos (Valença)	0
Transmissividade Baixa	Granitos e Granodioritos	-1

A) CARTA HIDROGEOLÓGICA DE PORTUGAL CONTINENTAL

A *Carta Hidrogeológica*, fornecida pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), segue um formato vetorial em forma de polígonos, com uma projeção de Hayford-Gauss, num sistema de coordenadas militares do Datum Lisboa [45], sendo posteriormente transformadas para o sistema de coordenadas ETRS89, através do modelo NTV2 [42].

A distribuição dos recursos hídricos subterrâneos em Portugal Continental está diretamente relacionada com as ações geológicas que moldaram o território. No entanto, nas bacias mesocenozóicas, ocupadas essencialmente por rochas detríticas ou carbonatadas, pouco ou nada afetadas por fenómenos de metamorfismo, encontram-se os aquíferos mais produtivos, com recursos mais abundantes.



A correspondência entre a distribuição e as características dos aquíferos, e as unidades geológicas levou ao estabelecimento de quatro unidades hidrogeológicas, correspondentes às quatro unidades morfo-estruturais em que o país se encontra dividido [45]:

- **Maciço Antigo**, também designado por Maciço Ibérico ou ainda Maciço Hespérico;
- **Orla Mesocenozóica Ocidental**, ou também designada por Orla Ocidental;
- **Orla Mesocenozóica Meridional**, ou abreviadamente Orla Meridional;
- **Bacia Terciária do Tejo-Sado**, ou abreviadamente designada por Bacia do Tejo-Sado.

O Maciço Antigo é constituído fundamentalmente por rochas eruptivas e metassedimentares e dispõe, em geral, de poucos recursos, embora se assinalem algumas exceções, normalmente relacionadas com a presença de maciços calcários [45].

B) CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL CONTINENTAL

A *Carta Geológica de Portugal Continental*, fornecida pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) segue um formato vetorial em forma de polígonos, com projeção de Hayford-Gauss, num sistema de coordenadas do Datum Lisboa [46], sendo transformadas *a posteriori* para o sistema de coordenadas ETRS89, através no método de grelhas NTv2 [42].

A Carta Geológica de Portugal Continental à escala 1:50 000 foi preparada no âmbito da publicação do Atlas de Portugal do Instituto Geográfico Português em 2005.

Esta carta, sintetiza informação relativa aos materiais rochosos que ocorrem na região abrangida e os fenómenos que os afetaram, nomeadamente:

- Natureza e distribuição espacial das diferentes rochas, quer em superfície, quer em profundidade;
- Posição e idade relativa ou absoluta das formações rochosas;
- Acidentes tectónicos ocorridos no decurso dos tempos geológicos;
- Ocorrência de substâncias minerais com interesse económico;



- Localização de poços, nascentes naturais, furos de sondagem, pedreiras, entre outros;
- Localização de jazidas fossilíferas e estações arqueológicas importantes.

3.6.2. CARATERÍSTICAS DO SOLO

A análise às caraterísticas do solo permite subdividir a bacia hidrográfica nos tipos de solo que a compõe, tendo em conta a sua capacidade de infiltração e de retenção da precipitação [43].

De acordo a *Carta de Solos de Portugal Continental*, existem 9 tipos de solo distintos ao longo da bacia hidrográfica, pelo que haverá a possibilidade de os agrupar quanto ao seu comportamento na presença de precipitação atmosférica [47].

A classificação do solo em função da infiltração, resulta do estabelecimento de uma escala que permite agrupar os tipos de solo de acordo com a sua porosidade, o que facilita o mecanismo de infiltração da precipitação (**Quadro 5**).

Quadro 5 - Tabela de Ponderação dos Tipos de Solo quanto à Infiltração [43]

<i>Tipos de Solo</i>	<i>Ponderação</i>
Arenossolos	+3
Regossolos	+1
Antrossolos Solo Urbano	0
Cambissolos	-1
Leptossolos	-2
Fluvissolos Praias Antigas Planos de Água	-3

Quanto à capacidade de retenção da precipitação, os solos existentes ao longo da bacia hidrográfica poderão ser divididos em três categorias. Esta classificação apoia-se no agrupamento dos solos em 3 formas de retenção da precipitação (**Quadro 6**) [43].

Quadro 6 - Tabela de Ponderação dos Tipos de Solo quanto à Retenção [43]

Capacidade de Retenção	Tipos de Solo	Ponderação
Baixa	Regossolos Praias Antigas Solo Urbano Leptossolos Arenossolos Planos de Água	-1
Média	Cambissolos Fluvissolos	0
Alta	Antrossolos	+1

A análise às condições do solo apoia-se no estudo de dois fatores que, embora distintos, possuem como elemento de ligação o facto de alterarem o seu comportamento natural na presença de precipitação, motivo pela qual é estudada a capacidade de infiltração da precipitação, conjuntamente com o fator de retenção dessa mesma precipitação nos tipos de solo que compõe a bacia hidrográfica.

A classificação obtida com o estudo dos tipos de solo irá ditar grande importância no estudo da quantidade de água disponível que possa efetivamente dar origem à produção de energia, uma vez que será a quantidade de água suportada pelo solo que irá assegurar parte da regularização do caudal médio anual [43].

A) CARTA DE SOLOS DE PORTUGAL CONTINENTAL

A *Carta dos Solos de Portugal Continental* é uma representação dos tipos de solo que compõe o território nacional, obtida por conversão analógico-digital da Carta Complementar de Solos da Direção Geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural [47].

A Carta de Solos encontra-se numa escala de 1:25 000, com o Sistema de Coordenadas do Datum Lisboa, usando as coordenadas militares do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), sendo posteriormente transformadas para o sistema de coordenadas ETRS89 por via do método de grelhas NTv2 [42].



Na carta, encontra-se representado um conjunto de informação, que pode ser agrupado da seguinte forma [47]:

- Unidades e complexos de unidades de solo e respetivas fases, com alusão às percentagens de unidades que integram os complexos;
- Área e perímetro dos polígonos representativos das unidades, delimitados graficamente;
- Delimitação de concelhos e apuramento da informação por concelhos.

3.6.3. CONDIÇÕES CLIMATOLÓGICAS

A precipitação ocorrida ao longo de um determinado período de análise, geralmente um ano, influencia diretamente a quantidade de água disponível na bacia hidrográfica.

A precipitação que irá influenciar efetivamente a quantidade de água disponível numa bacia hidrográfica será função da precipitação ocorrida diretamente sobre as massas de água e ainda do escoamento superficial e da retenção da precipitação que ocorre ao nível do solo. Torna-se, ainda, importante levar em linha de conta o valor da evapotranspiração média ao longo desse mesmo período de análise, de modo a que seja possível estimar o volume de água disponível na bacia (**Equação 2**) [43]:

***Equação 2** - Cálculo da Precipitação Disponível [43]*

$$P_i = P_\phi - E_0$$

onde,

P_i – representa a quantidade de água disponível para o período de análise (mm);

P_ϕ – respeita à quantidade de precipitação que ocorre anualmente (mm);

E_0 – indica o valor do potencial de evapotranspiração total anual (mm);

De acordo com a expressão indicada na **Equação 2**, ao ser retirada a quantidade de precipitação que irá evaporar, será possível encontrar a precipitação que efetivamente terá interesse sob o ponto de vista do potencial hídrico na bacia hidrográfica, originando as classes de precipitação ocorrida sobre a bacia hidrográfica (**Quadro 7**), bem como a importância que representam no cálculo do potencial hídrico [43].

Quadro 7 - Análise Ponderada à Quantidade de Precipitação Ocorrida Anualmente [43]

Quantidade de Precipitação Disponível	Precipitação (mm)	Ponderação
Muito Baixa	$P_i = 400 - 780$	-3
Baixa	$P_i = 780 - 1160$	-2
Moderada	$P_i = 1160 - 1540$	0
Alta	$P_i = 1540 - 1920$	+2
Muito Alta	$P_i = 1920 - 2300$	+3

A) CARTA DE PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL

A *Carta de Precipitação Total Anual*, representa a quantidade total de precipitação ocorrida, em milímetros, para todo o território nacional.

Publicada pelo antigo Serviço Meteorológico Nacional, agora Instituto Português do Mar e da Atmosfera, a *Carta de Precipitação Total Anual*, é coordenada pela Agência Portuguesa do Ambiente e encontra-se disponível no sistema de coordenadas de Datum Lisboa com projeção de Gauss-Krüger, à escala de 1:1000 000 (**Quadro 8**) [48], sendo posteriormente transformadas por via do método de grelhas NTV2, para o sistema de coordenadas ETRS89 [42].

Quadro 8 - Dados Técnicos da Carta de Precipitação Total Anual [48]

Dados Técnicos	
Sistema de Referência	Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas	Retangulares com Projeção de Gauss-Krüger
Elipsoide de Referência	Elipsoide de Hayford
Escala	1: 1000 000
Tema	Precipitação Anual

A) CARTA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL

A *Carta de Evapotranspiração Real*, representa a evapotranspiração média ocorrida sobre o território nacional, em milímetros.

Publicada pelo antigo Serviço Meteorológico Nacional, a *Carta de Evapotranspiração Real*, é coordenada pela Agência Portuguesa do Ambiente e encontra-se disponível no sistema de coordenadas de Datum Lisboa com projeção de Gauss-Krüger, à



escala de 1:1000 000 (**Quadro 9**) [48], sendo depois transformadas para o sistema de coordenadas ETRS89, através do método de grelhas NTv2 [42].

Quadro 9 - Dados Técnicos da Carta de Evapotranspiração Real [48]

Dados Técnicos	
Sistema de Referência	Datum Lisboa
Sistema de Coordenadas	Retangulares com Projeção de Gauss-Krüger
Elipsoide de Referência	Elipsoide de Hayford
Escala	1: 1000 000
Tema	Evapotranspiração Real

3.6.4. GEOMORFOLOGIA DO TERRENO

O declive do terreno é, talvez, a característica geomorfológica mais importante do ponto de vista do estudo do potencial hídrico, uma vez que determinará diretamente o comportamento da precipitação ocorrida em determinado local.

É possível afirmar que à medida que aumenta o declive do terreno, ocorre um aumento significativo do escoamento superficial da precipitação de cotas mais elevadas para cotas mais baixas.

A declives menos acentuados, correspondem valores de infiltração da precipitação mais elevados, que acabam por favorecer a recarga dos aquíferos e promover a acumulação de água, criando zonas de retenção mais significativas [43].

O presente estudo propõe a divisão do declive em cinco categorias (**Quadro 10**), de acordo com capacidade de infiltração da precipitação.

A escala estabelecida pretende favorecer a importância dos declives mais baixos, uma vez que darão origem a maiores possibilidades de infiltração e à criação zonas de acumulação de água significativas. A existência de zonas de acumulação poderá favorecer o aproveitamento do potencial hídrico [43].

**Quadro 10 - Ponderação Atribuída ao Declive do Terreno [43]**

Designação do Declive	Declive (°)	Ponderação
<i>Baixo</i>	0 – 7,0	+2
<i>Moderado</i>	7,1 – 18,0	+1
<i>Elevado</i>	18,1 – 31,0	0
<i>Alto</i>	31,1 – 50,0	-1
<i>Muito Acentuado</i>	> 50,1	-2

A) MODELO DIGITAL DO TERRENO

O *Modelo Digital do Terreno* (MDT) descreve a altimetria do terreno sem a presença de edifícios. O *Modelo Digital do Terreno de Portugal Continental* é obtido a partir da informação altimétrica vetorial utilizada na produção da Série Cartográfica Nacional à escala de 1:50 000, mais precisamente, com curvas de nível a equidistâncias de 25 metros, pontos cotados e vértices geodésicos (**Quadro 11**) [49].

Quadro 11 - Dados Técnicos do Modelo Digital do Terreno [49]

Dados Técnicos	
<i>Sistema de Referência</i>	Datum 73
	Datum Altimétrico de Cascais
<i>Elipsoide de Referência</i>	Elipsoide de Hayford
<i>Sistema de Coordenadas</i>	Retangulares com Projeção de Gauss-Krüger
<i>Origem das Coordenadas</i>	E= 180,598; N= -86,990 do Ponto Central
<i>Espaçamento</i>	25 metros

3.6.5. ESTABILIDADE DOS ECOSISTEMAS FLORESTAIS

Os ecossistemas florestais serão avaliados com base no seu nível de estabilidade ecológica. A sua estabilidade ecológica irá ditar grande importância, uma vez que são os ecossistemas florestais, os grandes responsáveis na disponibilidade de precipitação que afluem aos cursos de água. É a entropia que cria o escoamento da precipitação que molda diretamente o comportamento da precipitação e a velocidade de escoamento superficial [43].



Na Região Norte de Portugal Continental, a estabilidade dos ecossistemas florestais relaciona-se diretamente com a periodicidade dos incêndios, pelo que será estudada a sua recorrência ao longo dos últimos 23 anos.

A análise das áreas ardidas para o período de estudo permitirá verificar a existência de locais mais ou menos instáveis. Apoiando na tipologia de ecossistemas que compõe a Bacia Hidrográfica do Lima, é possível afirmar que o período de regeneração de uma área ardida é relativamente rápido, levando a crer que haja áreas onde a recorrência de incêndios seja bastante elevada [43].

Como forma de classificar a bacia hidrográfica, será estabelecida uma escala de estabilidade dos ecossistemas de acordo com a periodicidade em que ocorrem os incêndios florestais (**Quadro 12**) [43].

Quadro 12 - Análise Ponderada à Estabilidade dos Ecossistemas [43]

Caraterísticas dos Ecossistemas	Recorrência de Incêndios	Ponderação
Ecossistemas Muito Estáveis	0	+2
Ecossistemas Estáveis	1 – 3	+1
Ecossistemas de Baixa Estabilidade	4 – 6	+0
Ecossistemas Instáveis	7 – 9	-1
Ecossistemas Muito Instáveis	10	-2

A) CARTA DE ÁREAS ARDIDAS

A *Carta de Áreas Ardidas de Portugal Continental* é apresentada para o período que se estende deste o ano de 1990 até 2013, e representa em forma de polígonos as áreas ardidas em cada ano.

A Carta de Áreas Ardidas, é publicada pelo Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), apresentando-se à escala de 1:100 000, com projeção de Hayford-Gauss no sistema de coordenadas militares de Datum Lisboa, para o período de 1990 até 2012, sendo transformadas *a posteriori* para o sistema de coordenadas ETRS89 de acordo com o método de grelhas NTV2 [42]. Para o ano de 2013, segue a mesma escala de resolução mas encontra-se no sistema de atual de coordenadas, ETRS89 [50].

3.6.6. CARATERIZAÇÃO DOS SOLOS NÃO FLORESTAIS

A caraterização da ocupação do solo é realizada com base no *Corine Land Cover* (CLC), sendo analisadas as diferentes camadas não florestais que compõe o regime de ocupação do solo, para a área da bacia hidrográfica em estudo.

A análise das camadas de ocupação do solo permite estimar a capacidade de retenção da precipitação em função dos tipos de ocupação existentes, levando a uma classificação da ocupação dos solos em função da retenção de precipitação (Quadro 13) [43].

Quadro 13 - Análise Ponderada ao Uso e Ocupação do Solo [43]

Constituição	Ponderação
Pastagens Permanentes	+3
Áreas Agrícolas Heterogéneas Zonas Húmidas Litorais Águas Interiores Águas Marinhas e Costeiras	+2
Culturas Permanentes	+1
Terrenos Florestais	0
Culturas Temporárias	-1
Espaços Verdes Urbanos, Equipamentos Desportivos, Culturais e de Lazer e Zonas Históricas	-3
Tecido Urbano Indústria, Comércio e Transportes Áreas de Extração de Inertes, Áreas de Deposição de Resíduos e Estaleiros de Construção	-4

A) CARTA CORINE LAND COVER

A *Carta Corine Land Cover* representa a distribuição do uso e da ocupação do solo do território de Portugal Continental à escala de 1: 100 000, com projeção de Gauss-Krüger, no sistema de coordenadas do Datum Lisboa [51], sendo depois transformadas para o sistema de coordenadas ETRS89, por meio do método de grelhas NTv2 [42].



O *Corine Land Cover* representa uma ferramenta de especial interesse no planeamento de recursos naturais, no ordenamento do território e ainda no uso e ocupação do solo (**Quadro 14**) [51].

Quadro 14 - Dados Técnicos da Corine Land Cover [51]

Dados Técnicos	
Sigla	Corine Land Cover (CLC)
Sistema de Referência	Datum Lisboa
Elipsoide de Referência	Elipsoide de Hayford
Sistema de Coordenadas	Retangulares com Projeção de Gauss-Krüger
Escala	1:100 000
Temas	Ocupação Planeamento Recursos Naturais Uso do Solo

3.6.7. ANÁLISE MULTICRITÉRIO PONDERADA

Como forma de estabelecer uma escala capaz de dividir a aptidão hídrica da Bacia Hidrográfica do Lima, é atribuído a cada categoria de estudo, um fator de importância de acordo com a aptidão hídrica que desempenham ao longo da bacia hidrográfica (**Quadro 15**) [43].

Quadro 15 - Atribuição das Classes de Importância às Categorias de Análise [43]

Categoria	Sigla	Importância
Caraterísticas Hidrogeológicas	C_G	1,5
Capacidade de Retenção	C_R	2,5
Capacidade de Infiltração	C_I	3
Condições Climatológicas	C_C	4
Análise Geomorfológica	A_G	3
Estabilidade dos Ecossistemas Florestais	E_{EF}	3,5
Caraterização dos Solos Não Florestais	C_{SNF}	2



A cada categoria de análise (**Quadro 15**), é atribuído um significado de cálculo que será ainda o produto dele mesmo com a ponderação atribuída a cada fator de análise (**Equação 3**).

Equação 3 – Cálculo das Classes de Análise do Potencial Hídrico [43]

$$L_{HS} = 1.5C_G + 2.5C_R + 3C_I + 4C_C + 3A_G + 3.5E_{EF} + 2C_{SNF}$$

A) CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL HÍDRICO

Com a aplicação da **Equação 3**, será possível classificar a bacia hidrográfica de acordo com as suas aptidões hídricas (**Quadro 16**), sendo que as três primeiras categorias evidenciam as melhores cotações para o aproveitamento do potencial hídrico com fins energéticos [43].

Quadro 16 - Classificação do Potencial Hídrico [43]

<i>Categoria</i>	<i>Pontuação</i>	<i>Significado</i>
Categoria 1	> 20	Aptidões Hídricas Excelentes
Categoria 2	10 – 19,9	Aptidões Hídricas Muito Boas
Categoria 3	0,1 – 9,9	Aptidões Hídricas Moderadas
Categoria 4	-10 – 0	Aptidões Hídricas Limitadas
Categoria 5	< -10,1	Aptidões Hídricas Muito Limitadas



3.7. POTENCIAL ENERGÉTICO RELATIVO

O *Potencial Energético Relativo* para a Bacia Hidrográfica do Lima resulta do estudo das zonas de maior área de acumulação de água, maiores precipitações e, em simultâneo, um desnível do terreno associado ao curso de água, capaz de promover um potencial de aproveitamento energético considerável [29].

A determinação das *Áreas de Acumulação* centra-se na utilização da ferramenta *Flow Accumulation* (ArcMap 10.2.2), multiplicando o resultado pela Área do Pixel, com a finalidade de obter as áreas de acumulação de água (**Equação 4**).

Equação 4 - Cálculo das Áreas de Acumulação

$$A_{Acumulação} = FlowAccumulation \times A_{Pixel}$$

O *Desnível nas Linhas de Água* é determinado em função do declive do terreno ao longo dos cursos de água (**Equação 5**).

Equação 5 - Cálculo do Desnível nas Linhas de Água

$$Desnível = \left(\frac{Declive (\%)}{100} \right) \times Dimensão do Pixel$$

O desnível ocorrido entre dois pontos do curso de água apresenta-se como um fator determinante para a diferenciação do potencial energético, uma vez que, à medida que este desnível aumenta, o potencial aumenta numa razão de proporcionalidade direta [29].

A determinação do *Potencial Energético Relativo* é função da *Precipitação Real* ocorrida (à precipitação anual é descontado o fator de evapotranspiração real), das *Áreas de Acumulação*, e do *Desnível do Terreno* ao longo dos cursos de água (**Equação 6**).

Equação 6 - Cálculo do Potencial Energético Relativo

$$P_{Energético\ Relativo} = A_{Acumulação} \times Desnível \times precipitação\ real$$

O estudo do *Potencial Energético Relativo* ao longo das linhas de água origina um planeamento de recursos, que poderá indicar e originar um estudo detalhado de projetos para a construção de mini-hídricas nos locais onde haja um potencial maior.



Como forma de simplificar a análise do *Potencial Energético Relativo*, o resultado segue uma representação relativa em 5 classes de análise dos valores absolutos obtidos, que serão [29]:

- Potencial Energético Muito Baixo;
- Potencial Energético Baixo;
- Potencial Energético Moderado;
- Potencial Energético Alto;
- Potencial Energético Elevado.



3.8. EXPLORABILIDADE ENERGÉTICA

O conceito de explorabilidade energética encontra-se amplamente ligado ao cálculo do aproveitamento energético, uma vez que há a necessidade de exigir dos recursos a maior taxa de eficiência que eles podem abranger.

No campo das energias renováveis é importante que haja um aproveitamento sustentável e cuidado do potencial por explorar, daí que seja crucial exercer um estudo cuidado do ponto de vista da explorabilidade dos locais onde se encontram vetores energéticos com potencial por explorar.

Pode definir-se *explorabilidade energética* como sendo o aproveitamento sustentável e racional de determinado potencial energético, tendo sempre em atenção a eficiência do aproveitamento, nas suas dimensões técnicas e socioeconómicas [30].

Aliando o fator de explorabilidade energética ao levantamento do potencial hídrico, importa salientar que se enquadram nesta temática, questões como a ligação da energia produzida à rede elétrica nacional, pontos de consumo da eletricidade produzida, acessibilidade dos locais, não compromisso das condicionantes à gestão ambiental e conservação da natureza, interferência da atividade agrícola e florestal envolvente, e impacto socioeconómico.

Os fatores supra indicados podem influenciar negativamente o projeto de aproveitamento energético, caso o comprometam negativamente, levando a que o aproveitamento seja um entrave no decurso funcional e natural destes fatores [53].

No que respeita à ligação da energia produzida à rede elétrica nacional importa referir que o projeto tornar-se-á vantajoso na medida em que hajam pontos de injeção de energia relativamente próximos da central electroprodutora. Caso não existam pontos de injeção próximos dos centros electroprodutores, os custos de criação de novos ramais energéticos poderão ser um grande entrave para o desenvolvimento do projeto, no entanto fatores como a energia produzida anualmente poderão facilitar ou não a construção desses novos ramais [30].

A não existência de pontos de consumo da energia numa proximidade do local acaba por ser uma justificação para que não haja uma necessidade efetiva da construção do projeto, uma vez que a rede de transporte de eletricidade em baixa tensão adquire perdas que levam a uma redução da eficiência do sistema. No



entanto, se houver população relativamente próxima dos locais com maior aptidão à construção dos aproveitamentos, poderá representar um impedimento no que respeita ao impacto social que as novas infraestruturas possam ostentar [30].

A deteção de locais com aptidões hidroelétricas resulta, muitas das vezes, em locais com acessibilidade bastante reduzida, o que irá comprometer os custos do projeto, levando a que haja uma parte considerável dos custos associados à criação de novos acessos. Importa aqui referir que o estudo de acessibilidade não é similar entre diferentes locais, porque a orografia do terreno é o grande fator de diferenciação de custos neste tipo de análise. Por isso mesmo, do ponto de vista do planeamento de recursos hídricos, o fator da acessibilidade restringe-se ao enquadramento das principais vias de acesso [54].

A avaliação do potencial hídrico poderá, ainda, resultar na deteção de locais inseridos em áreas que representam condicionantes à gestão ambiental e conservação da natureza, o que poderá levar a um compromisso do projeto, uma vez que haverá uma maior necessidade de estudar todos os impactos ambientais que possam advir da construção do aproveitamento energético. Aquando da necessidade do estudo e implementação de medidas de mitigação dos impactos ambientais causados pelo projeto, os seus custos poderão ser significativamente superiores, mas do ponto de vista do planeamento territorial, importa saber se as áreas de maior aptidão se apresentam ou não em locais que apresentem condicionantes à gestão ambiental e conservação da natureza, porque caso se apresentem, terão um coeficiente penalizador do ponto de vista da explorabilidade local [30].

Nos aproveitamentos energéticos endógenos, como há necessidade de utilização recursos naturais, poderá haver uma interferência com a atividade agrícola e florestal. No caso específico dos aproveitamentos hídricos, poderá haver um pequeno compromisso de espaços agrícolas ou florestais, para a construção da central electroprodutora e ainda na manipulação dos cursos de água para o aproveitamento, no entanto este tipo de situação, quando se encontra devidamente otimizada, originará um compromisso bastante reduzido em terrenos agrícolas ou florestais [55].



3.8.1. INFLUÊNCIA DA REDE VIÁRIA

A designação de *Rede Viária* engloba todas as vias de comunicação terrestres que de uma forma ou de outra contribuam significativamente para garantir bons padrões de acessibilidade e comunicação entre locais.

É importante referir que a existência de boas infraestruturas rodoviárias está na base do desenvolvimento rural e urbano, levando a que haja encurtamentos significativos entre localidades, e possibilitando dessa forma que haja criação de riqueza e serviços [54].

No âmbito do estudo do potencial mini-hídrico, é importante salientar que a existência de uma rede rodoviária facilita e possibilita que determinados locais adotem maior interesse de estudo em função da rede viária que os engloba.

Para o estudo, sob o ponto de vista do planeamento de recursos mini-hídricos, importa enquadrar as principais vias rodoviárias que se encontram dispersas pela bacia hidrográfica, sendo elas: Estradas Municipais (EM), Estradas Regionais (ER), Estradas Nacionais (EN), Itinerários Complementares (IC) e Itinerários Principais (IP).

A metodologia de cálculo basear-se-á no estabelecimento de um padrão de distâncias às principais vias de acesso, o que levará a induzir que quanto menor for a distância maior aptidão haverá para o estudo do projeto em determinados locais.

Saliente-se que a falta de acessos é uma barreira considerável para o desenvolvimento do projeto, uma vez que com a necessidade de criação de novos acessos há redução de eficiência económica de determinado local.

Importa ainda referir, que são as condições do terreno que condicionam a construção de vias de acesso, o que leva a crer que o estudo desta condicionante se faça apenas em função de um padrão de distanciamento às principais vias de acesso nacionais [55].

A influência da Rede Viária na questão do aproveitamento mini-hídrico terá por base o estudo da densidade das vias enunciadas no início deste ponto, sendo posteriormente estabelecida uma escala decrescente (de 5 até 1), onde a menor pontuação favoreça a maior densidade de vias.



A razão pela qual será estabelecida uma escala invertida, prende-se com a sua utilização com os restantes condicionalismos à explorabilidade energética, uma vez que para o resultado final, interessará o maior compromisso dos locais de análise (que será resultado de uma soma de ponderações atribuídas a determinado local, onde a maior pontuação indicará menor possibilidade de exploração).

A densidade das vias é calculada com recurso à ferramenta *Kernel Density* (ArcMap 10.2.2), onde é criada a densidade da rede viária, com a divisão do território em função da maior ou menor quantidade de vias existentes.

Como forma de interpretar os resultados, é atribuído um fator de ponderação às várias densidades criadas pela ferramenta anterior (**Quadro 17**).

Quadro 17 - Atribuição de Ponderações à Densidade da Rede Viária

<i>Densidade</i>	<i>Ponderação</i>
Muito Baixa	5
Baixa	4
Moderada	3
Alta	2
Muito Alta	1

A) CARTA DA REDE VIÁRIA

A *Carta da Rede Viária* representa a rede viária principal para todo o território nacional.

Publicada pela Direção-Geral do Território, a *Carta da Rede Viária* encontra-se disponível no sistema de coordenadas ETRS89, com projeção de Transverse Mercator, à escala de 1:50 000 [46].

Quadro 18 – Dados Técnicos da Carta da Rede Viária [46]

<i>Dados Técnicos</i>	
Sistema de Referência	ETRS89
Projeção	Transverse Mercator
Escala	1:50 000
Temas	Rede Viária Principal



3.8.2. INFLUÊNCIA DAS CONDICIONANTES À GESTÃO AMBIENTAL E CONSERVAÇÃO DA NATUREZA

A influência das Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza para a Bacia Hidrográfica do Lima, resume-se na análise de locais referentes a: Áreas Protegidas (AP), Sítios de Importância Comunitária (SIC), Zonas de Proteção Especial (ZPE), Reserva Agrícola Nacional (RAN) e Reserva Ecológica Nacional (REN); que se encontram inseridos no território da Bacia Hidrográfica do Lima.

O 4º Congresso Mundial sobre Parques Nacionais e Áreas Protegidas define **Área Protegida**, como sendo “uma superfície de terra e/ou de mar, especialmente consagrada à proteção e manutenção da diversidade biológica, assim como dos recursos naturais e património cultural associados, e gerida através de meios jurídicos, ou outros eficazes”.

Um **Sítio de Importância Comunitária**, é definido como um sítio que, na ou nas regiões biogeográficas onde se encontra, contribua de forma significativa para manter ou restabelecer um tipo de *habitat* natural ou de uma espécie, num estado de conservação favorável, e possa também contribuir de forma significativa para manter a diversidade biológica nas regiões abrangidas [56].

Uma **Zona de Proteção Especial** é uma área de importância comunitária no território nacional onde são aplicadas medidas necessárias para a manutenção ou restabelecimento do estado de conservação das populações das espécies de aves selvagens inscritas no Anexo A-I do Decreto-Lei nº 140/99 de 24 de Abril, e dos seus *habitats* [56].

Define-se **Reserva Agrícola Nacional**, como sendo o conjunto de terras que, em virtude das suas características, em termos agroclimáticos, geomorfológicos e pedológicos, apresentam maior aptidão para a atividade agrícola [57].

Reserva Ecológica Nacional é uma estrutura biofísica que integra o conjunto de tipologias que, pelo valor e sensibilidade ecológicos ou pela exposição e suscetibilidade perante riscos naturais, são alvo de proteção especial. Assim, aplica-se esta estrutura a um regime territorial especial, que estabelece um conjunto de condicionamentos, identificando usos e ações compatíveis com os objetivos desse regime nas diferentes tipologias [58].



A análise das Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza centra-se na implicação que as cinco classes apresentadas (AP, SIC, ZPE, RAN e REN) têm para a Bacia Hidrográfica do Lima. O estudo de determinado local é realizado em função do seu compromisso com o estas condicionantes.

O compromisso de determinado local é função do cruzamento da informação das diferentes classes apresentadas, que ditarão um gradiente de implicação dos diversos locais ao longo da bacia hidrográfica.

No sentido do que se enuncia acima, poderá haver locais onde hajam vários tipos de condicionantes a ditar proteção especial, o que ditará maior compromisso face à possibilidade de aproveitamento mini-hídrico [59].

Importa salientar que é possível realizar aproveitamentos energéticos em locais abrangidos pelas áreas que apresentam Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza, no entanto, são projetos obrigados a realizar AIA, com possíveis medidas de mitigação dos impactos causados, o que levará a um aumento do custo do projeto [30].

Aquilo que se pretende como resultando, será a visualização quantitativa do compromisso que determinado local possa albergar (**Quadro 18**). Saliente-se que à medida que é aumentado o número de condicionantes aumenta a ponderação atribuída, uma vez que à maior pontuação obtida corresponderão os locais mais condicionado, e por consequência, os menos exploráveis.

Quadro 18 - Análise do Compromisso Imposto pelas Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza

<i>Análise de Compromisso</i>	<i>Ponderação</i>
1 Condicionante Abrangida	1
2 Condicionantes Abrangidas	2
3 Condicionantes Abrangidas	3
4 Condicionantes Abrangidas	4
5 Condicionantes Abrangidas	5



A) CARTA DAS CONDICIONANTES À GESTÃO AMBIENTAL E CONSERVAÇÃO DA NATUREZA

A *Carta das Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza*, representa as áreas abrangidas pela Rede Natura 2000, pela Reserva Agrícola Nacional e pela Reserva Ecológica Nacional.

Publicada pelo Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas, a *Carta das Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza* encontra-se disponível no sistema de coordenadas ETRS89, com projeção de Transverse Mercator, à escala de 1:50 000 [59].

Quadro 19 - Dados Técnicos da Carta das Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza [59]

Dados Técnicos	
Sistema de Referência	ETRS89
Projeção	Transverse Mercator
Ano de Publicação	2014
Escala	1:50 000
Temas	Rede Natura 2000 RAN REN

3.8.3. INFLUÊNCIA DA REDE ENERGÉTICA

O estudo da influência da *Rede Energética* cinge-se à análise de classes de distanciamento de determinados locais às linhas energéticas existentes no território abrangido pela Bacia Hidrográfica do Lima.

Na bacia hidrográfica encontram-se distribuídas linhas energéticas de 150 e de 400 kV, referentes às linhas de muito alta tensão. No entanto, estas linhas encontram-se distribuídas apenas em determinadas zonas da bacia, pelo que a possível localização de zonas com grande aptidão de aproveitamento mini-hídrico poderá resultar de locais afastados destas vias de transporte energético [60].

A análise de distanciamento resume-se à criação de cinco classes (**Quadro 19**), em que para distâncias menores haverá uma beneficiação dos locais e para distâncias maiores haverá uma penalização (**Quadro 19**).

**Quadro 20 - Classes de Distanciamento da Rede Energética Nacional**

<i>Distanciamento das Linhas</i>	<i>Ponderação</i>
1000 metros	1
2000 metros	2
4000 metros	3
8000 metros	4
superior a 8000 metros	5

O distanciamento das diversas localizações à rede energética é calculada com recurso à utilização da ferramenta *Euclidean Distance* (ArcMap 10.2.2), que criará classes de distanciamento, agrupadas de acordo com as classes.

A) CARTA DA REDE ENERGÉTICA´

A *Carta da Rede Energética*, representa as Linhas de Muito Alta Tensão que se encontram em território abrangido pela Bacia Hidrográfica do Lima.

Publicada pela Rede Elétrica Nacional, a *Carta da Rede Energética* encontra-se disponível no sistema de coordenadas ETRS89, com projeção de Transverse Mercator, à escala de 1:50 000 [14].

Quadro 21 - Dados Técnicos da Carta de Rede Energética [14]

<i>Dados Técnicos</i>	
Sistema de Referência	ETRS89
Projeção	Transverse Mercator
Escala	1:50 000
Temas	Linhas de Muito Alta Tensão



3.8.4. MAPA DE EXPLORABILIDADE ENERGÉTICA

A análise da *Explorabilidade Energética* é resultado da influência que as três categorias de análise representam no estudo do potencial mini-hídrico, apresentando-se como um fator limitador, e prezando pela exploração eficiente e sustentável dos recursos.

O Distanciamento à Rede Elétrica e a Densidade de Vias poderão ser moldados em função da capacidade produtiva de um possível centro electroprodutor, ou seja, na ausência de boas condições destes fatores, será a capacidade e produção de determinado ponto que levará à aposta de criação de novas infraestruturas de suporte.

As Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza poderão ser entendidas como o grande fator de entrave à construção de infraestruturas de apoio ao aproveitamento energético, uma vez que requerem a realização de AIA, e acabam por ser influenciadas por fatores sociais e ambientais, que levarão a um conjunto detalhado de medidas de mitigação para possíveis efeitos causados com a realização de projetos de aproveitamento energético [52].

A Explorabilidade Energética para a bacia hidrográfica apoia-se numa soma de pontuações das condicionantes evidenciadas ao longo deste ponto. Aquelas onde a soma for menor, apresentam boas aptidões de exploração energética (**Quadro 20**).

Quadro 21 - Classificação da Explorabilidade Energética

<i>Explorabilidade Energética</i>	<i>Pontuação</i>	<i>Ponderação</i>
Excelente	0 – 1	5
Boa	2 – 6	4
Moderada	7 – 11	3
Baixa	12 – 16	2
Muito Baixa	> 17	1

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



4.1. CARATERIZAÇÃO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO MINHO-LIMA

A Região Hidrográfica do Minho e Lima (RH1) é uma das quatro regiões hidrográficas internacionais, englobando nela as bacias hidrográficas dos rios Minho, Lima, Âncora e Neiva, as ribeiras da costa ao longo da região hidrográfica, as massas de água subterrâneas de transição e as costeiras adjacentes, conforme está descrito no Decreto-Lei nº 347/2007 de 19 de Outubro, que estabeleceu a delimitação georreferenciada das regiões hidrográficas [61].

A região hidrográfica do Minho e Lima é delimitada pelo território espanhol a Este e a Norte, pelo oceano Atlântico a Oeste, pela região hidrográfica do Douro a Sudeste e pela sub-bacia do Cávado a Sul (**Figura 13**) [61].



Figura 13 - Enquadramento das Regiões Hidrográficas do Norte [56]

A região hidrográfica do Minho e Lima possui uma área, aproximada, de 20 000 km², sendo que 2 400 km² encontram-se em território nacional, o que irá representar cerca de 12% do total da bacia hidrográfica. Refira-se ainda que na região hidrográfica do Minho e Lima residem cerca de 1,1 milhões de habitantes, dos quais perto de 276 mil residem na parte portuguesa [62].

Na RH1 encontram-se delimitadas 71 massas de água superficiais, distribuídas pelas categorias que se seguem:

- 56 rios;
- 3 albufeiras;
- 10 massas de águas de transição;
- 2 massas de águas costeiras.

No que respeita à disponibilidade dos recursos hídricos superficiais, a afluência total média anual disponível situa-se, em 17 091 hm³, dos quais 3 433 hm³ são gerados em território português.

A importância da afluência total média anual traduz-se na existência de três aproveitamentos hidroelétricos de grande dimensão em território português, com uma capacidade de armazenamento de 353 hm³ [61].

A distribuição da população residente é de 110,3 habitantes por km², relativamente ao ano de 2011. Note-se ainda que mais de 70% da população residente na região hidrográfica encontra-se em aglomerados com menos de 2 000 habitantes, não se registando aglomerados que ascendam os 100 mil habitantes [62].

No que concerne às necessidades de água para usos consumptivos, atingem-se os 111 hm³/ano, podendo mesmo alcançar um valor máximo de 132 hm³/ano, respeitante a anos secos.

Na **Figura 14**, referente ao gráfico ilustrativo da distribuição do consumo de água na RH1, pelos vários usos consumptivos, note-se que o maior consumidor de água, com 77% das necessidades totais, é o setor agrícola. A este, seguem-se o setor urbano com necessidades que rondam os 14% e a indústria com necessidades que se situam nos 8%. Os restantes usos não têm uma expressão significativa no consumo total.

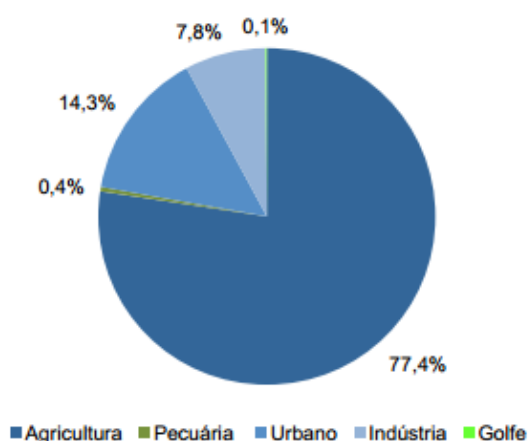


Figura 14 - Gráfico da distribuição das necessidades de água na RH1 pelos vários usos consumptivos em ano médio [61]

No que concerne aos usos não consumptivos, a produção hidroelétrica assume grande relevância com três grandes aproveitamentos hidroelétricos, que



representam uma potência instalada de 696 MW, e quatro pequenas centrais hídricas, que totalizam uma potência instalada de 12,7 MW [63].

4.1.1. CARATERIZAÇÃO DA SUB-BACIA DO LIMA

A sub-bacia do rio Lima, ocupa uma área de cerca de 2 470 km², dos quais cerca de 1 213 km² encontram-se em território português. É delimitada a Norte pela sub-bacia do rio Minho, a leste pela região hidrográfica do Douro e a Sul pelas sub-bacias dos rios Cávado e Neiva.

A sub-bacia do Lima abrange 12 concelhos, embora parcialmente, nomeadamente: Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Montalegre, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Terras de Bouro, Viana do Castelo, Vila Nova de Cerveira e Vila Verde.

Esta sub-bacia (**Figura 15**) tem como linha de água principal, o rio Lima, um rio internacional que tem origem na Serra de S. Mamede, em Espanha, a cerca de 950m de altitude e desagua em Viana do Castelo. Tem cerca de 108 km de extensão, onde 67 km se localizam em território português. Como principais afluentes do rio Lima, em Portugal, surgem os rios Estorãos, Trovela, Vez, Vade e Castro Laboreiro [63].

Não existem conselhos totalmente incluídos na sub-bacia do rio Lima, no entanto Ponte da Barca e Arcos de Valdevez encontram-se com uma taxa de inclusão que ascende aos 95%. Note-se ainda, que os conselhos de Caminha e Vila Nova de Cerveira são menos significativos, cujas áreas de inclusão são inferiores a 1% [63].

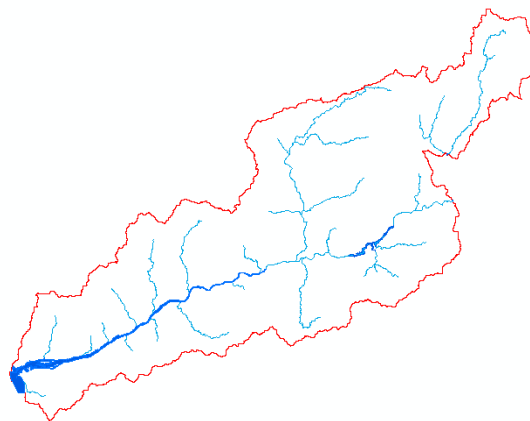


Figura 15 – Sub Bacia do Lima [63].

4.2. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise de resultados apoia na apresentação dos resultados advindos da análise ponderada às classes de estudo, com a aplicação do modelo IRBM – Integrated River Basin Management [43], de forma a estimar o potencial hídrico presente na Bacia Hidrográfica do Lima.

4.2.1. ANÁLISE DAS CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

A análise às formações rochosas que compõe a bacia hidrográfica, consistiu na sua divisão em função da porosidade que apresentam, o que ditará uma maior ou menor transmissividade (**Figura 16**).

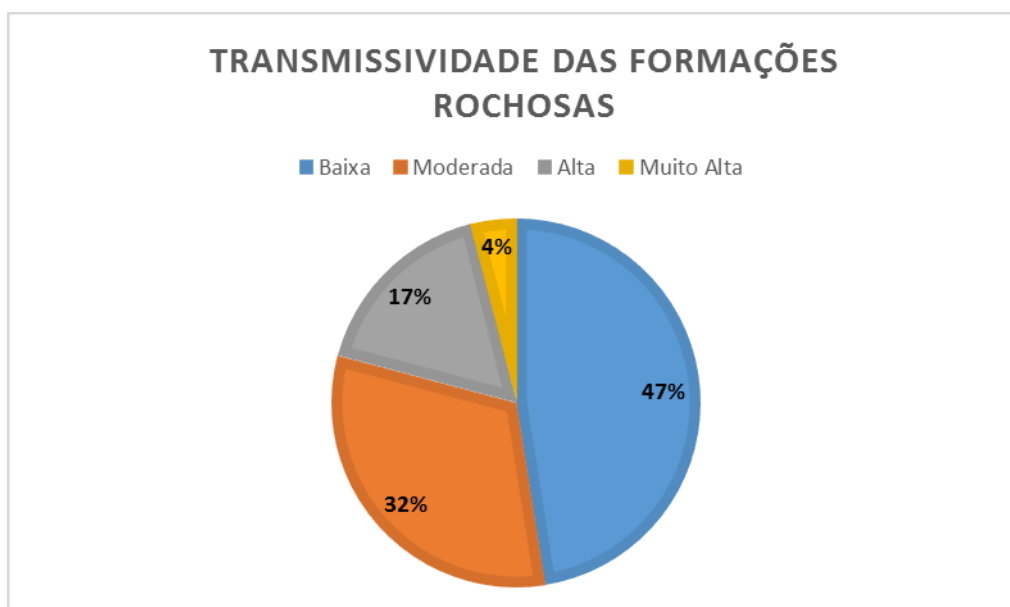


Figura 16 - Análise à Transmissividade das Formações Rochosas da Bacia Hidrográfica do Lima

A existência de Granitos e Granodioritos indica a existência de *Transmissividades Baixas*, uma vez que apresentam uma porosidade bastante baixa e elevada dureza, impossibilitando a transmissão de água [64]. As transmissividades baixas (azul) representam cerca de 47% da constituição rochosa da bacia hidrográfica (**Figura 16**) levando a crer que cerca de metade do território que compõe a bacia hidrográfica apresenta uma recarga dos aquíferos muito deficitária.

Os Quartzitos e os Xistos da Formação de Valença representam *Transmissividades Moderadas* (laranja), uma vez que a sua constituição apresenta uma porosidade superior à das formações graníticas, e a sua dureza é ligeiramente inferior [65]. Os



Xistos da Formação de Valença representam formações ligeiramente argilosas, o que prevê uma barreira à transmissão de água, levando a que se encontrem em classes diferenciadas dos restantes Xistos [66].

As formações rochosas de *Transmissividade Moderada* (laranja) ocupam cerca de 32% (**Figura 16**). A existência de Quartzitos e Xistos da Formação de Valença, indica que a passagem de água aos aquíferos se efetua de uma forma ligeiramente superior quando comparada com as formações graníticas, embora seja ainda bastante baixa [64],[66].

A existência de Cascalheiras, Aluviões, Ampelitos, Quartzos, Xistos Negros e Tufos, caracteriza-se pela existência de *Transmissividades Altas* (cinza), quando comparadas com outras formações rochosas que compõe a bacia hidrográfica. Devido à porosidade que estas formações apresentam, a passagem de água para recarga dos aquíferos efetua-se de uma forma relativamente facilitada, o que irá promover a recarga melhorada dos aquíferos [67].

A existência de formações rochosas com *Transmissividades Altas* (cinza), representa cerca de 17% da área da bacia hidrográfica (**Figura 16**), o que leva a concluir que em cerca de $\frac{1}{6}$ da recarga dos aquíferos se efetua de uma forma relativamente facilitada [67].

Com cerca de 4% da área da bacia hidrográfica, apresentam-se *Transmissividades Muito Altas* (amarelo), características de zonas onde as formações geológicas sejam areias [68].

A existência de areias na composição da bacia hidrográfica poderá levar a que a recarga dos aquíferos se realize de uma forma muito eficiente. Isto acontece, devido à sua porosidade ser muito elevada, o que provoca uma passagem de água muito facilitada [68].

Em suma, os Concelhos de Arcos de Valdevez, Melgaço e Ponte da Barca apresentam-se maioritariamente com transmissividades baixas, o que não favorece a recarga dos aquíferos nessas zonas. Os Concelhos de Ponte de Lima e Viana do Castelo apresentam transmissividades mais elevadas, sendo que é no Concelho de Viana do Castelo que se encontram as transmissividades mais altas (**Figura 17**).

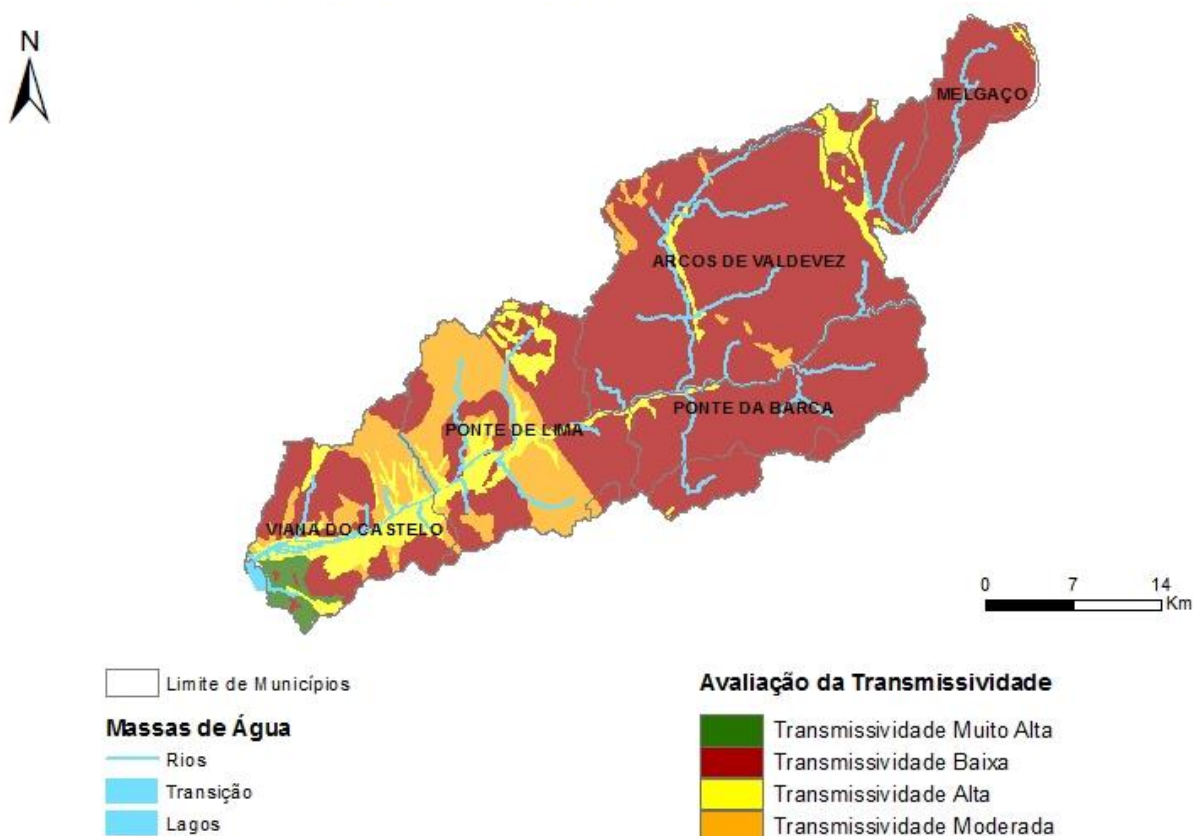


Figura 17 - Mapa de Transmissividade das Formações Rochosas

4.2.2. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO

A análise dos tipos de solo que compõe a área na qual se insere a bacia hidrográfica, permitiu estudar o seu comportamento face à ocorrência de precipitação. Neste âmbito, foram analisadas as capacidades de infiltração e de retenção da precipitação atmosférica.

A **Capacidade de Infiltração** da precipitação (**Figura 18**) é uma característica intrínseca da sua textura, pelo que os solos com menor quantidade de matéria orgânica na sua composição, serão aqueles onde a possibilidade de penetração de precipitação será maior [43].

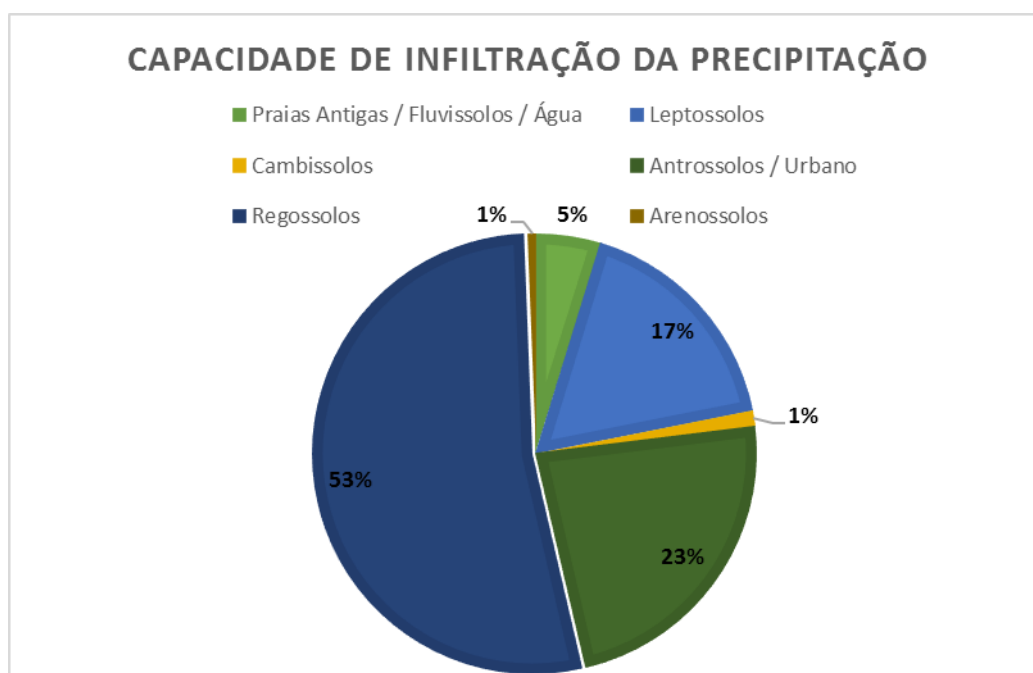


Figura 18 - Análise da Capacidade de Infiltração da Precipitação nos Tipos de Solo da Bacia Hidrográfica do Lima

Os Arenossolos (castanho) representam uma *Capacidade de Infiltração Elevada*, uma vez que a sua composição deriva de formações detríticas arenosas, levando à existência de grande número de interstícios entre as partículas [69].

Resultado da formação dos arenossolos, a infiltração da precipitação dá-se de uma forma bastante eficiente, pelo que será neste tipo de solo que há maior infiltração, no entanto os arenossolos (castanho) representam apenas 1% da constituição dos solos da bacia hidrográfica (**Figura 18**).

A existência de Regossolos (azul escuro) caracteriza-se por uma *Capacidade de Infiltração Favorável*, uma vez que na sua composição apresentam-se baixos teores de matéria orgânica, levando a que a penetração da precipitação se realize de modo bastante benéfico [69].

Os Regossolos (azul escuro) apresentam a maior quantidade de solo que compõe a bacia hidrográfica, com cerca de 53% (**Figura 18**). Desta forma, pode afirmar-se que maior parte da bacia hidrográfica apresenta boa capacidade de infiltração de precipitação.

Os Antrossolos e o Tecido Urbano (verde escuro) representam a segunda maior fasquia de área ocupada na bacia hidrográfica, com cerca de 23%, possuindo uma *Capacidade de Infiltração Média* (**Figura 18**).

Os Antrossolos caracterizam-se por possuírem modificações significativas ou até perturbações nas camadas: tais como adição de compostos orgânicos e ainda a exposição a longos períodos de rega (levando à saturação) [70]. Dada a existência de compostos orgânicos e de saturação dos solos a sua aptidão para infiltração da precipitação é significativamente mais deficitária quando comparada com os anteriores.

A existência de Tecidos Urbanos caracteriza-se pela existência de infraestruturas com coeficientes de impermeabilização elevados, bem como espaços verdes, pelo que a sua capacidade de infiltração se centre no grau intermédio, a par dos Antrossolos, uma vez que o escoamento superficial nestas superfícies é alto, o que leva a que a precipitação escoe para outro tipo de solos adjacentes [70].

Os Cambissolos (amarelo) caracterizam-se por possuírem argila na sua constituição e serem compostos por partículas relativamente finas, o que facilita a agregação dos solos. Estes dois fatores são suficientes para imprimir a este tipo de solo, *Baixa Capacidade de Infiltração* da precipitação [70].

Os Cambissolos (amarelo) representam uma parte praticamente desprezável (1%) do território que compõe a bacia hidrográfica (**Figura 18**), pelo que a sua existência praticamente não representa importância de cálculo para o potencial hídrico.

A ocorrência de Leptossolos (azul claro) na bacia hidrográfica impõe *Capacidades de Infiltração Bastante Deficitárias*, uma vez que na sua constituição são limitados por rocha contínua dura a menos de 50 cm de profundidade, o que irá criar uma grande barreira à infiltração da precipitação para favorecer a recarga dos aquíferos [70].

Os Leptossolos (azul claro) apresentam uma percentagem de constituição da bacia hidrográfica de cerca de 17% (**Figura 18**), ou seja, é possível afirmar que cerca de $\frac{1}{6}$ da bacia apresenta grande défice de infiltração da precipitação.



Os Fluvissois e as Praias Antigas (verde claro) caracterizam-se pela existência de materiais aluvionares, apresentando composições orgânicas altas e ainda sedimentos fluviais, marinhos e lacustres [70]. O facto de possuírem estas características aponta para uma *Capacidade de Infiltração Extremamente Baixa*, levando a que a precipitação ocorrida se retenha à sua superfície, assim como acontece nos Planos de Água.

O conjunto formado pelos Fluvissois, Praias Antigas e Planos de Água (verde claro) representa cerca de 5% da área que compõe a bacia hidrográfica (**Figura 18**), levando a crer que a sua existência no cálculo de potencial hídrico é pouco relevante.

Em síntese, a maior parte do território abrangido pela bacia hidrográfica apresenta-se com boas capacidades de infiltração da precipitação, conducentes aos Arenossolos e Regossolos (**Figura 19**). Saliente-se que as zonas de Arcos de Valdevez e Melgaço apresentam baixas capacidades de infiltração, facto de se tratar de terrenos montanhosos com declives consideráveis.

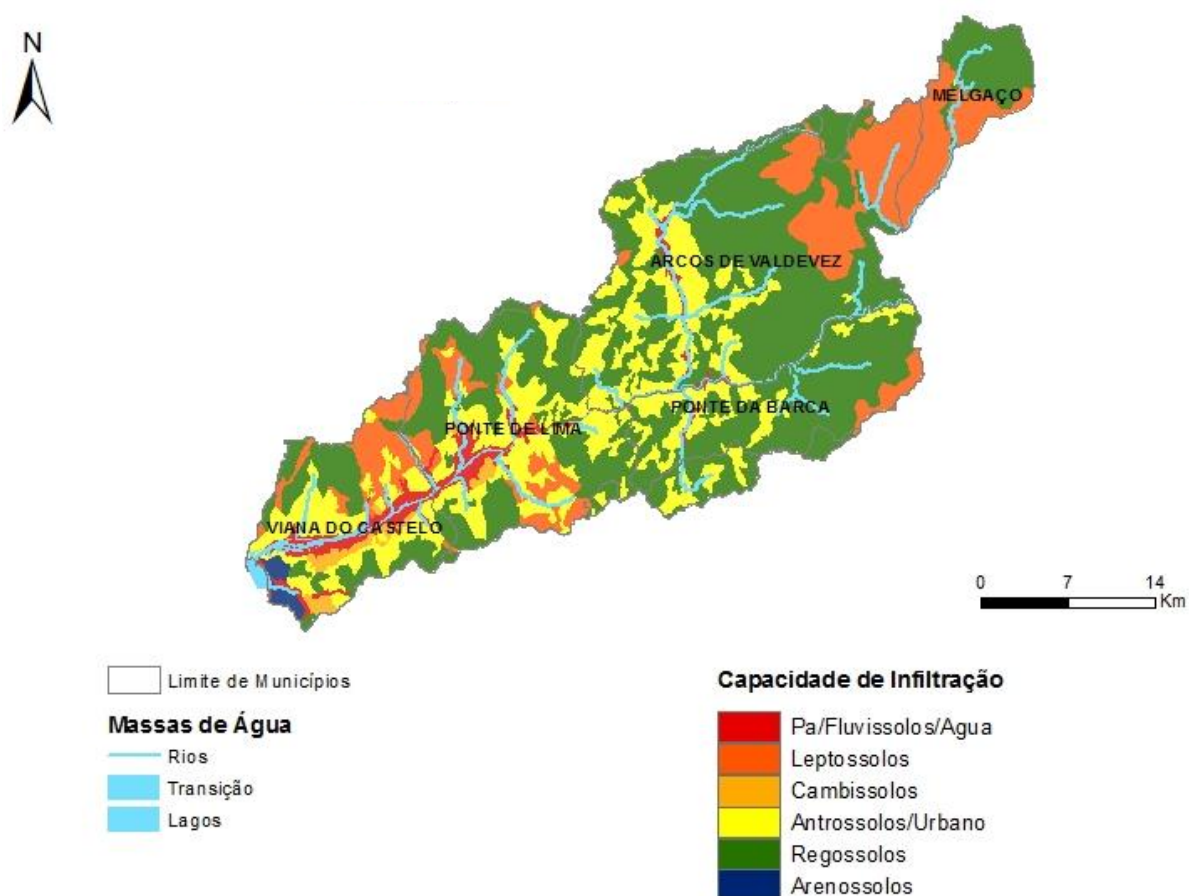


Figura 19 - Mapa da Capacidade de Infiltração da Precipitação

A **Capacidade de Retenção** que os solos apresentam na presença de precipitação representa um fator de especial interesse na criação de zonas de acumulação de água que possam vir a ser aproveitadas sob o ponto de vista do potencial hídrico [43]. Na **Figura 20**, é possível verificar a distribuição da capacidade de retenção da precipitação pelos diferentes tipos de solo que compõe a área da bacia hidrográfica.

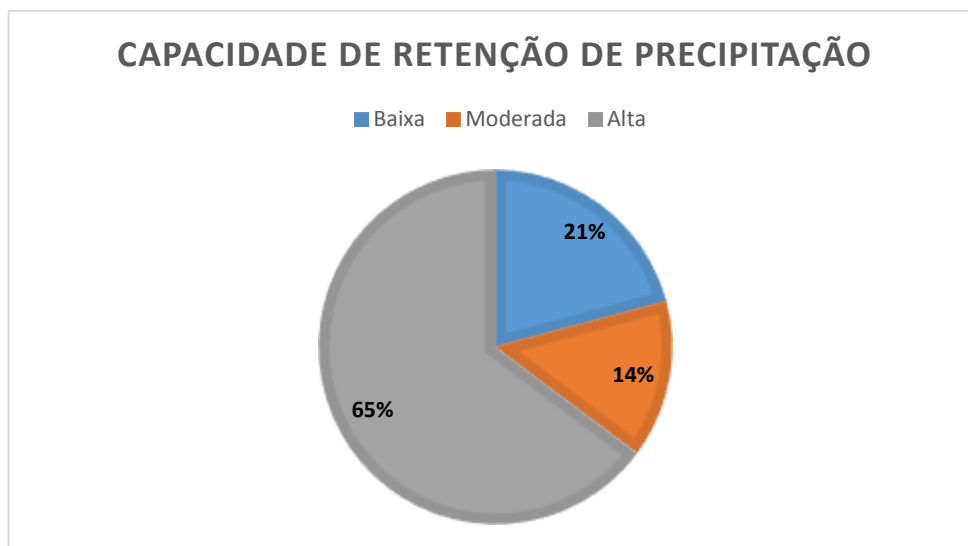


Figura 20 - Análise da Capacidade de Retenção da Precipitação nos Tipos de Solo da Bacia Hidrográfica do Lima

A análise da capacidade de retenção de precipitação, permite afirmar que cerca de 65% (**Figura 20**) da área que compõe a bacia hidrográfica apresenta uma *Capacidade de Retenção Bastante Alta* (cinza), levando a crer que haja a criação de zonas de retenção de água bastante consideráveis.

Com *Grande Capacidade de Retenção* de precipitação apresentam-se apenas os Antrossolos, devido a grande saturação que apresentam e ainda ao grande teor em matéria orgânica [70].

Cerca de 14% do território que abrange a bacia hidrográfica, encontram-se os solos com uma *Capacidade de Retenção Média* (laranja), tratando-se de Fluvissolos e Cambissolos (**Figura 20**). Os Fluvissolos e os Cambissolos, dada a sua formação, apresentam-se como uma barreira pouco permeável à transmissão da precipitação, pelo que levam à criação de pequenas zonas de acumulação de água [70].

As Praias Antigas, os Planos de Água, os Leptossolos, o Tecido Urbano, os Regossolos e os Arenossolos, apresentam uma *Capacidade de Retenção da*



Precipitação Muito Baixa (azul), representando um fator de permeabilidade da precipitação ligeiramente elevada [69],[70].

É possível verificar que cerca de 21% (**Figura 20**) do território ocupado pela bacia hidrográfica apresenta *Baixo Teor de Retenção da Precipitação* (azul), impossibilitando a criação de zonas de acumulação de água com potencial de aproveitamento hídrico.

Os Leptosolos caracterizam-se por reterem a água numa profundidade bastante baixa dada a sua impermeabilidade, no entanto não favorecem a infiltração até aos lençóis freáticos nem a criação de pequenos espelhos de água [70].

As Praias Antigas não apresentam condições que favoreçam a criação de pequenos espelhos de água, uma vez que se encontram em zonas de estuário levando a que a retenção de água não influencie o cálculo do potencial hídrico [70].

Os Planos de Água não representam qualquer importância de cálculo uma vez que não é possível contabilizar a importância que a precipitação detém sobre eles para o aproveitamento hídrico [43].

O Tecido Urbano apresenta grandes capacidades impermeabilizantes, o que provoca alguma retenção de água, no entanto, a criação de redes de drenagem para outras zonas e ainda a existência de infraestruturas de apoio às atividades antrópicas leva à falta de capacidade de aproveitamento do potencial hídrico. Desta forma, para este estudo foi-lhe imposta a penalização de cálculo, passando a cotar-se como uma *Capacidade de Retenção Baixa* [69].

Os Regossolos e os Arenossolos, devido à sua composição se centrar em partículas arenosas de dimensões consideráveis e ainda à quase ausência de matéria orgânica, leva a que a infiltração esteja otimizada, não tendo capacidade para originar zonas retenção de água consideráveis [69],[70]. Em suma, a bacia hidrográfica apresenta uma capacidade de retenção da precipitação baixa, à exceção das zonas que envolvem cursos de água, apresentando uma capacidade de retenção mais elevada (**Figura 21**). A zona de estuário apresenta-se com uma capacidade de retenção intermédia.

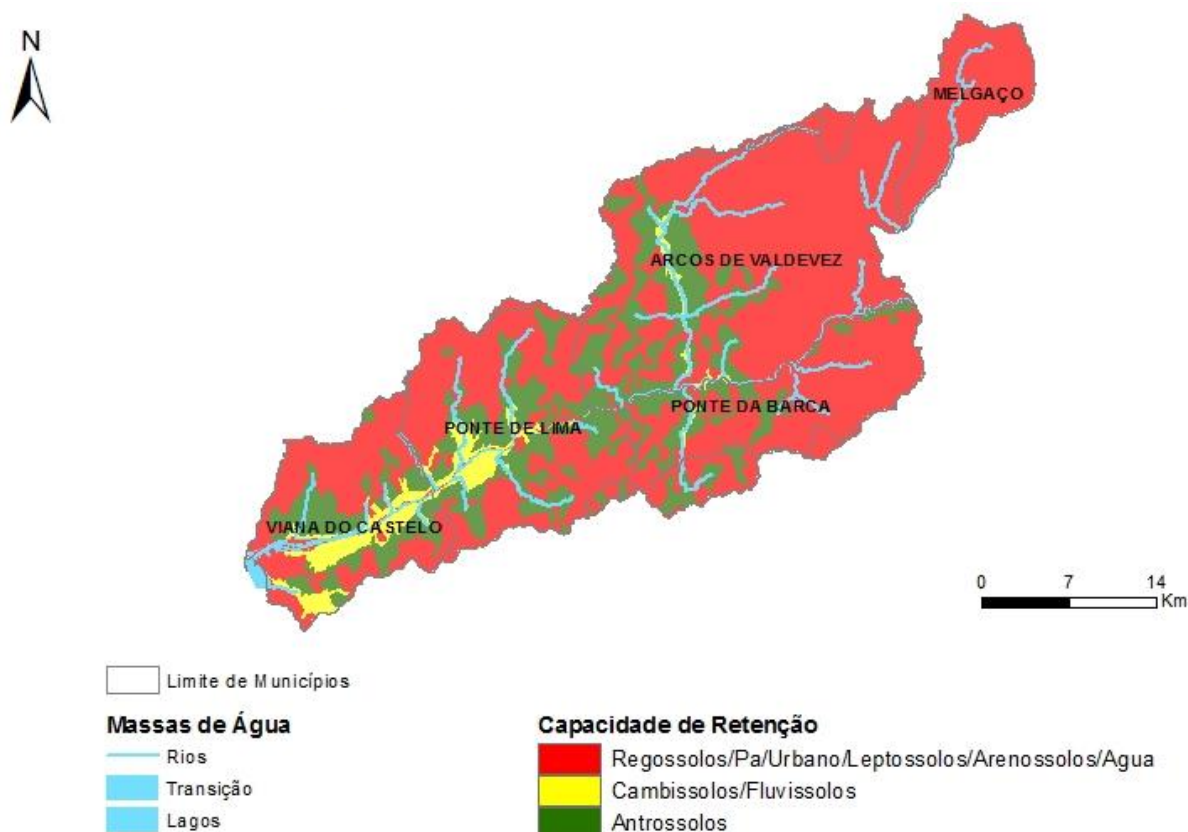


Figura 21 - Mapa da Capacidade de Retenção da Precipitação

4.2.3. ANÁLISE ÀS CONDIÇÕES CLIMATOLÓGICAS

Com base no Modelo IRBM, a precipitação ocorrida sobre o solo é o fator com maior expressividade no cálculo do potencial hídrico, uma vez que é a precipitação que contribui diretamente para que haja a possibilidade de formação de zonas de retenção de água, para uma eventual possibilidade de aproveitamento hídrico [43].

A precipitação real ocorrida a um determinado local é calculada em função da subtração da precipitação total ocorrida pela evapotranspiração real (**Equação 2**) [43]. Ao longo da bacia hidrográfica poderão encontrar-se precipitações deste muito baixas até muito altas (**Figura 22**). No entanto, são as precipitações moderadas e altas que apresentam maior expressividade ao longo da bacia hidrográfica.

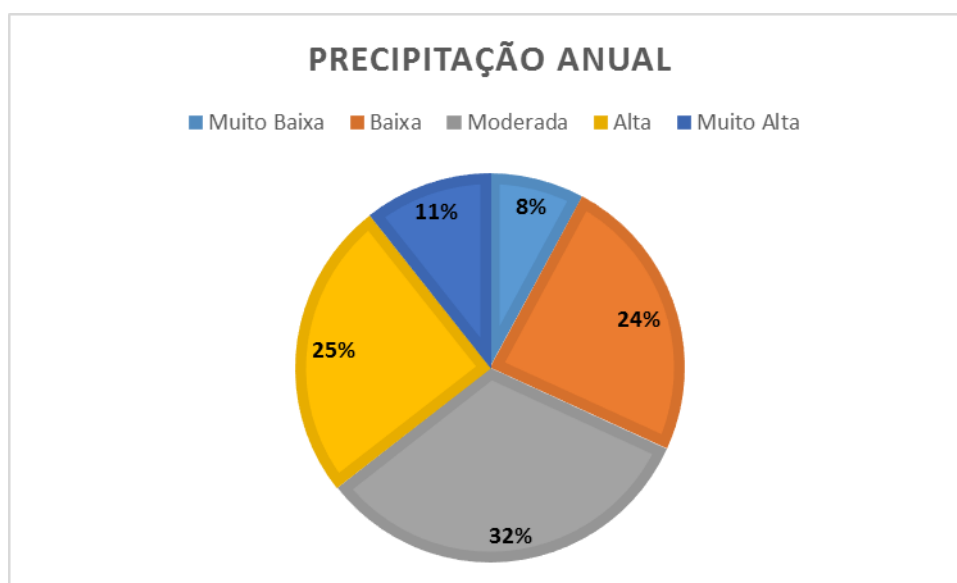


Figura 22 - Análise à Precipitação Anual Ocorrida na Bacia Hidrográfica do Lima

Na Região do Alto Minho, a ocorrência de precipitação dá-se de uma forma mais intensa, quando comparada com as restantes regiões do território de Portugal Continental. De acordo com este facto, é importante ter em consideração que toda a região despertará um interesse relevante sob o ponto de vista do aproveitamento hídrico [71].

Alinhado com aquilo que se enuncia no parágrafo anterior, é possível comprovar os factos supra citados uma vez que apenas 8% do território da bacia hidrográfica (**Figura 22**) se encontra com uma *Precipitação Muito Baixa* (azul claro).

A existência de zonas com *Precipitação Baixa* (laranja) compõe cerca de 24% do território da bacia hidrográfica (**Figura 22**), estando estas associadas aos vales. Nas zonas mais altas a ocorrência de precipitação dá-se de uma forma mais intensa, no entanto, devido ao fenómeno de escoamento superficial, aflui aos vales levando a que o facto de haver menor quantidade de precipitação nestas zonas não inviabilize o aproveitamento hídrico [72].

A ocorrência de um conjunto de *precipitações Moderadas e Altas* (cinza e amarelo), que representam cerca de 57% do território da bacia hidrográfica (**Figura 22**), induz a que mais de metade da área de estudo dispõe de aptidões hídricas com um interesse bastante relevante.



A existência de *Precipitações Moderadas e Altas* dá-se nas zonas onde a altitude tende a ser maior, e uma vez que a maior parte da bacia hidrográfica se situa numa faixa de altitudes consideráveis, é de todo corrente que a precipitação seja mais elevada, levando à criação de zonas de acumulação intermédia e ainda ao escoamento superficial significativo para zonas mais baixas [71],[72].

É a existência de *Precipitações Moderadas e Ligeiramente Superiores* que satisfaz as exigências do aproveitamento hidroelétrico à escala mini-hídrica, por isso mesmo, o facto desta gama de precipitações representarem cerca de 57% do território que compõe a bacia hidrográfica (**Figura 22**) é bastante relevante para que haja um estudo mais aprofundado sob o ponto de vista do aproveitamento energético nestas zonas [32].

A ocorrência de *Precipitações Muito Altas* (azul escuro), geralmente associadas aos picos montanhosos, que neste caso se referem ao Parque Nacional da Peneda-Gerês, não favorece em muito o aproveitamento hídrico, uma vez que poderá levar à ocorrência rápida de períodos de cheia. Outro facto importante é o de que nas zonas de montanha a acessibilidade tende a ser menor, motivo pelo qual o aproveitamento também se torna mais dificultado. No entanto, a ocorrência de *Precipitações Anuais Muito Altas* representa apenas 11% do território que compõe a bacia hidrográfica (**Figura 22**) [29],[72].

Por outro lado, é importante salientar que o aproveitamento energético em reservas naturais também se torna mais dificultado, devido à necessidade de estudos de impacto ambiental tal como se refere a *Portaria 295/2002* de 19 de Março [21].

Em suma, a maior parte da bacia hidrográfica apresenta-se com *Precipitações Moderadas e Altas* (**Figura 23**). No entanto, as zonas de vales (associados às linhas de água) apresentam precipitações menores.

No Concelho de Viana do Castelo apresentam-se as precipitações mais baixas, ao passo que nos Concelhos de Arcos de Valdevez e Melgaço, apresentam-se as precipitações mais elevadas (**Figura 22**), geralmente associadas aos picos mais elevados do Parque Nacional da Peneda Gerês.

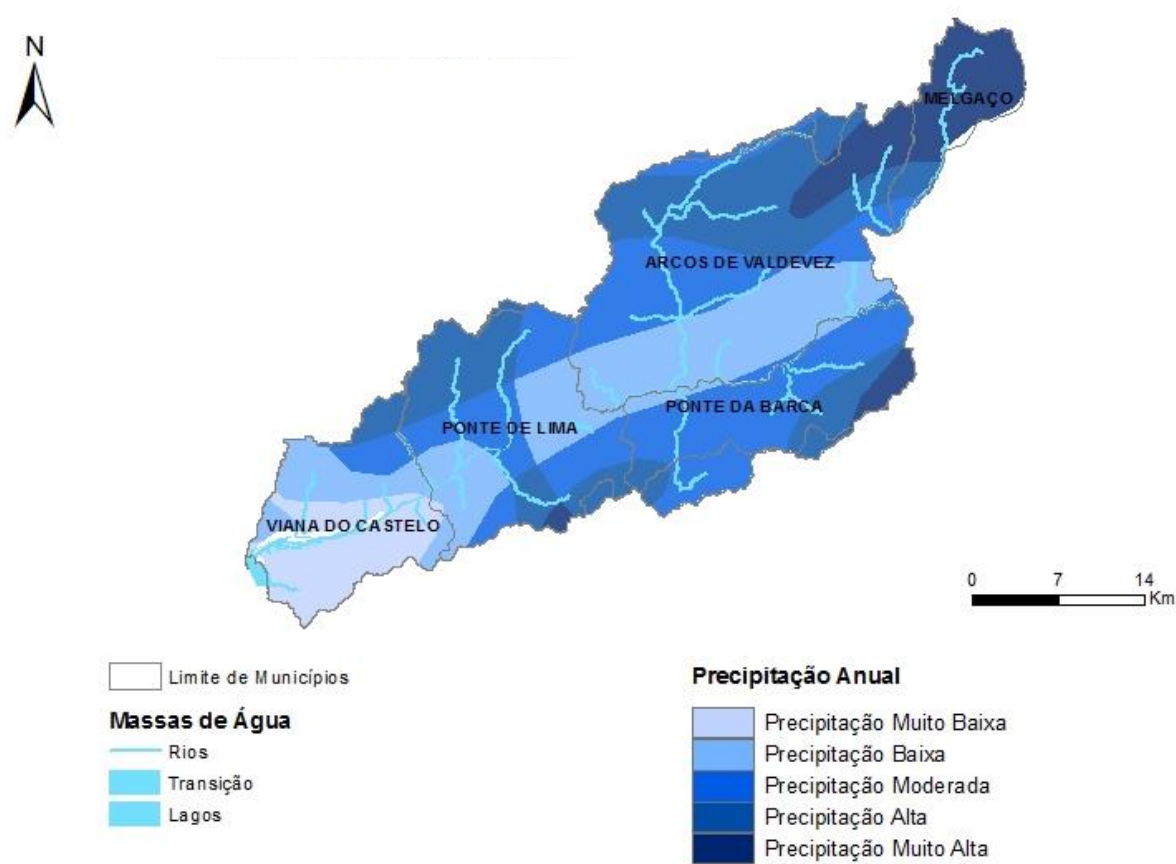


Figura 23 - Mapa da Classificação da Precipitação Anual

4.2.4. ANÁLISE ÀS CARATERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

O declive do terreno torna-se numa característica deveras importante no aproveitamento do potencial hídrico, uma vez que poderá permitir ou inibir a criação de zonas de acumulação de água [43].

O declive é uma característica intrínseca a cada região, podendo modular todo o desenvolvimento e habitabilidade nela existente. Declives muito acentuados poderão ser uma barreira ao desenvolvimento local, uma vez que se tornará praticamente impossível criar infraestruturas de apoio, e redes viárias [73].

A Bacia Hidrográfica do Lima apresenta-se numa gama de declives maioritariamente baixos ou moderados (**Figura 24**), o que se torna num fator vantajoso do ponto de vista do desenvolvimento local e em concreto do aproveitamento hídrico.

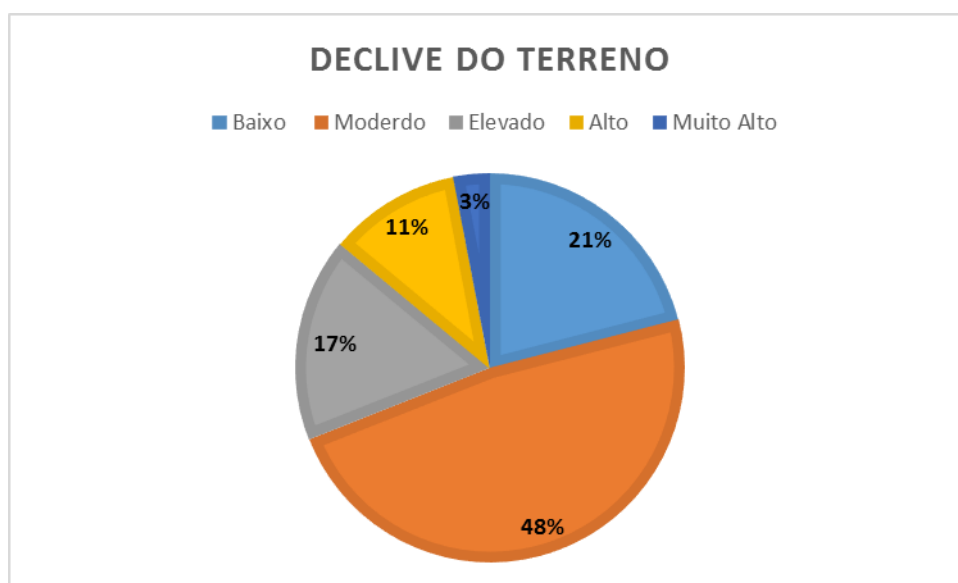


Figura 24 - Análise do Declive do Terreno para a Bacia Hidrográfica do Lima

A gama de declives mais propícios ao aproveitamento hídrico situa-se nos Declives *Baixos e Moderados* (azul claro e laranja) que, juntos, perfazem cerca de 69% do território abrangido pela bacia hidrográfica (**Figura 24**).

A existência de declives pouco acentuados leva a que hajam condições propícias à formação de zonas de retenção de água, quer pela precipitação direta sobre essas zonas, quer pelo escoamento superficial que ocorre das zonas com declives mais acentuados [72].

Ora, se há a criação de zonas de retenção de água, a possibilidade de aproveitamento desse potencial hídrico armazenado torna-se maior, pelo que é de todo importante afirmar que a análise das diversas características que influenciam o potencial hídrico, até ao momento, apontam para uma possibilidade vantajosa do seu aproveitamento [43].

A existência de declives mais acentuados poderá dever-se ao conjunto formado pelos *Declives Elevados, Altos e Muito Acentuados* (cinza, amarelo e azul escuro), que perfazem cerca de 31% do território englobado pela bacia hidrográfica (**Figura 24**).

O facto de existirem declives mais acentuados remete para um esforço maior do ponto de vista da preparação do local para quaisquer que seja a infraestrutura a implementar em si. Importa ainda salientar que à medida que o declive aumenta, a



densidade de redes viárias e meios de comunicação tende a ser menor, também pelos factos mencionados anteriormente, o que se torna num entrave considerável ao aproveitamento hídrico desses mesmos locais [73].

Saliente-se o facto de existir uma faixa minoritária de cerca de 14% (**Figura 24**), formada pelos Declives Altos e Muito Acentuados (amarelo e azul escuro), onde o acesso é verdadeiramente dificultado, sendo também pouco provável que hajam zonas de retenção da precipitação, uma vez que ela irá escoar superficialmente para as zonas de acumulação onde o declive é menor [43]. Em forma de síntese, a bacia hidrográfica apresenta-se maioritariamente numa gama de declives moderados (**Figura 25**) o que indica uma boa capacidade de aproveitamento do potencial hídrico.

É ainda importante salientar o facto dos Concelhos de Ponte de Lima e Viana do Castelo apresentarem declives baixos, o que favorece a maior quantidade de acumulação de água nesses locais. Os Concelhos de Arcos de Valdevez e Melgaço, apresentam declives mais elevados, característica de terrenos maioritariamente montanhosos.

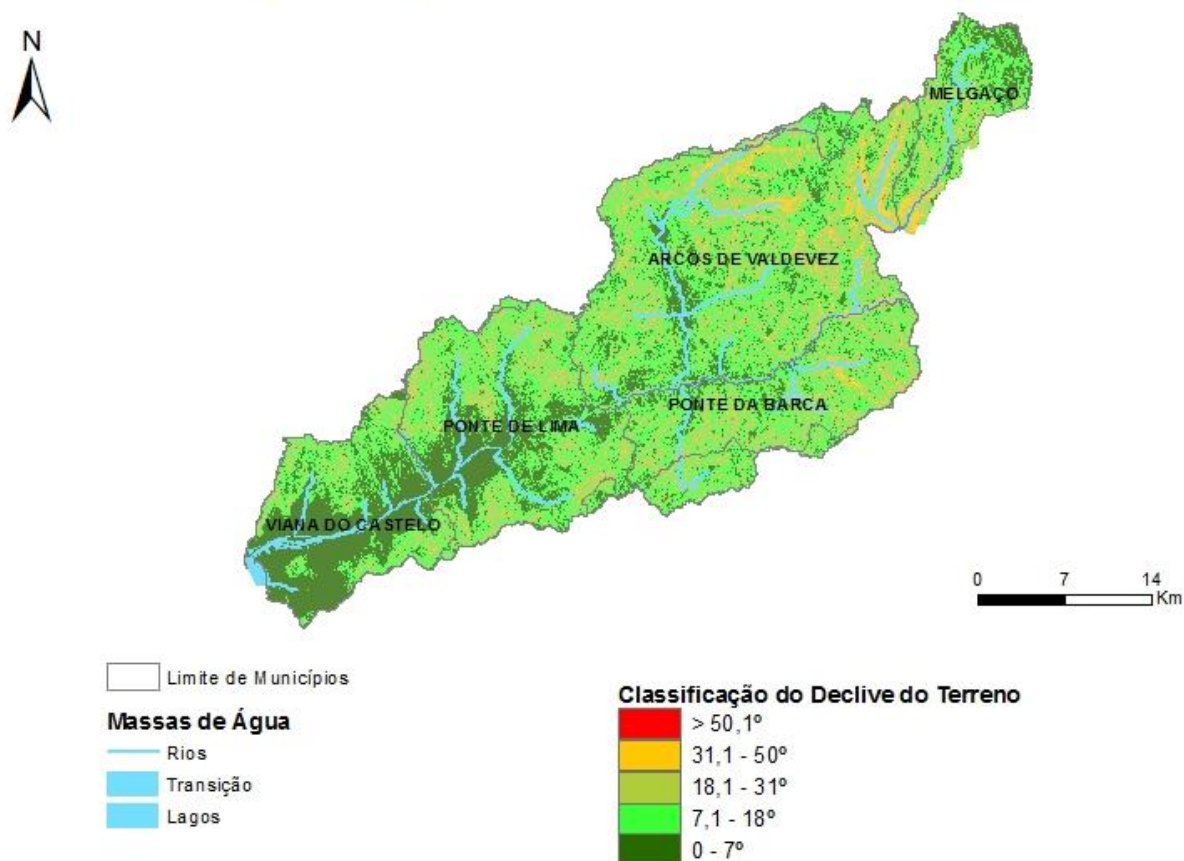


Figura 25 - Mapa de Classificação do Declive do Terreno

4.2.5. ANÁLISE DA ESTABILIDADE DOS ECOSISTEMAS FLORESTAIS

A análise da estabilidade dos ecossistemas florestais recai no estudo da recorrência de incêndios, visto que estes são os grandes causadores de instabilidade no território florestal da Região Norte de Portugal Continental [74].

A maior parte do território abrangido pela bacia hidrográfica apresenta-se com estabilidade ecológica considerável uma vez que a recorrência de incêndios florestais para o período de análise é baixa (**Figura 26**). No entanto note-se que 14% do território apresenta instabilidade dos ecossistemas florestais.

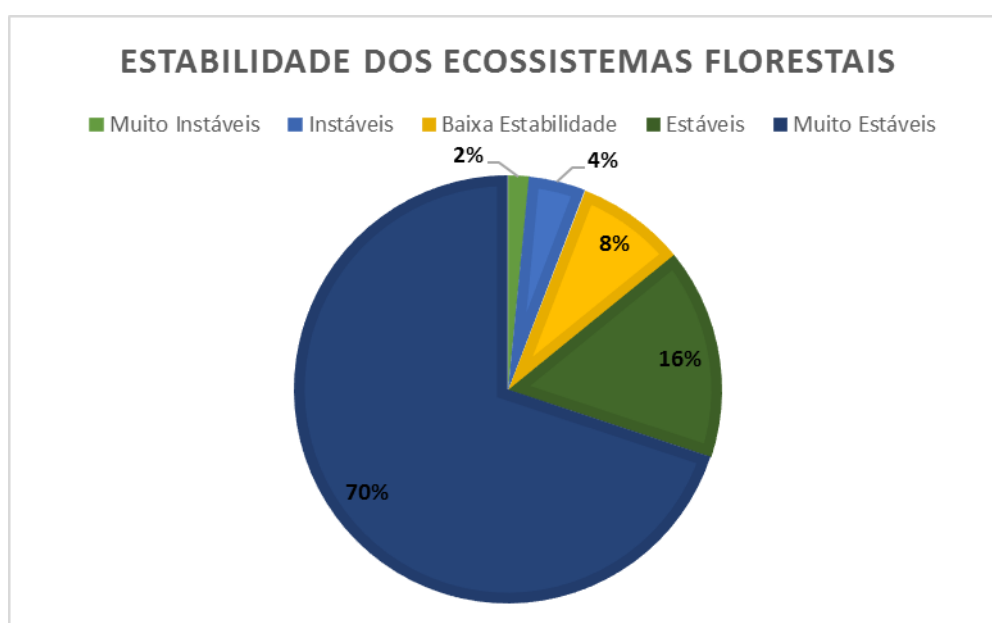


Figura 26 - Análise da Estabilidade dos Ecossistemas Florestais da Bacia Hidrográfica do Lima

A mancha maioritária, com cerca de 70% (**Figura 26**), representa as *Zonas Florestais com Maior Estabilidade Ecológica* (azul escuro), ou seja, zonas onde não ocorreram incêndios florestais nos últimos 23 anos.

A *Alta Estabilidade Ecológica* (azul escuro) supra referida, contribui em grande parte para que o escoamento da precipitação dos terrenos florestais se faça de uma forma bastante lenta devido à entropia causada pela existência de vegetação abundante. Noutro aspeto, é ainda importante referir que a evapotranspiração nestas zonas se dá de uma forma menos acentuada devido, também, à vegetação que irá provocar um sombreamento significativo e assim, irá garantir que haja maior quantidade de água disponível para um possível aproveitamento hídrico [72],[75].



A existência de *Zonas de Estabilidade* (verde escuro), refere-se a uma recorrência de incêndios de uma a três vezes em 23 anos, representando cerca de 16% da área que compõe a bacia hidrográfica (**Figura 26**).

Tal como as anteriores, as *Zonas de Estabilidade Ecológica* irão contribuir, em grande parte, para que a quantidade de água disponível possa contribuir para um posterior aproveitamento hídrico. Nessas zonas, onde a recorrência de incêndios é baixa, a existência de vegetação torna-se abundante devido ao repovoamento acelerado que se faz sentir na Região do Alto Minho, motivado pelo tipo de solos e pelo microclima existente. Este facto leva à recriação rápida da entropia natural ao escoamento superficial e à evapotranspiração [74].

A recorrência de incêndios florestais de 4 a 6 vezes em 23 anos, indica *Zonas de Baixa Estabilidade Ecológica* (amarelo), levando a que haja uma baixa aptidão hídrica, uma vez que a retenção de precipitação de faz de uma forma mais deficitária, quando comparada com as situações analisadas anteriormente. No entanto, note-se que apenas 8% do território que compõe a bacia hidrográfica (**Figura 26**) manifesta zonas florestais de *Baixa Estabilidade Ecológica* [75].

A existência de *Zonas de Instabilidade Ecológica e Muito Alta Instabilidade Ecológica* (azul claro e verde claro), representam apenas 6% (**Figura 26**) do território que compõe a bacia hidrográfica, apresentando-se como parte minoritária das zonas florestais abrangidas pela bacia hidrográfica.

A existência de *Zonas Instáveis Ecologicamente* remete para um período de recorrência de incêndios de 7 a 10 vezes em 23 anos, o que leva a crer que o repovoamento florestal se efetue de uma forma muito pouco eficiente e desta forma, a entropia criada ao escoamento superficial e à ocorrência de evapotranspiração seja muito pouco significativa [72],[75].

Em modo de resumo, a bacia hidrográfica apresenta uma maior predominância de bons indicadores de estabilidade dos ecossistemas florestais nas localizações que se encontram a Este e Nordeste (**Figura 27**). Isto pode dever-se ao facto de se tratar de zonas pertencentes ao Parque Nacional da Peneda-Gerês, onde há uma maior proteção florestal. Note-se ainda o facto das áreas localizadas a Sudoeste apresentarem uma estabilidade mais baixa, o que indica que se tratam de zonas

onde há uma recorrência de incêndios mais significativa, quando comparada com as anteriores (**Figura 27**).

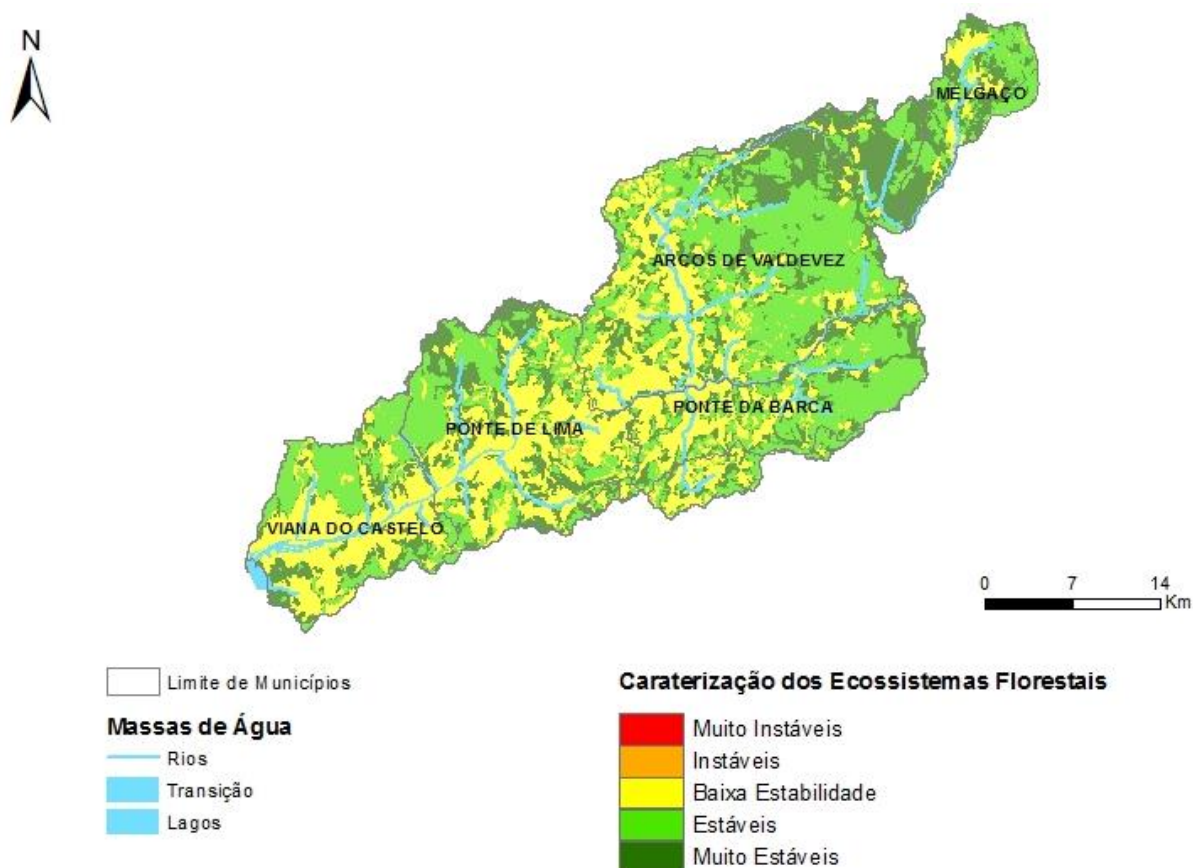


Figura 27 - Mapa da Avaliação da Estabilidade dos Ecossistemas Florestais

4.2.6. ANÁLISE À CARATERIZAÇÃO DOS SOLOS NÃO FLORESTAIS

A análise à ocupação dos solos não florestais foi realizada com base na interpretação do Nível 2 da Carta – *Corine Land Cover*, baseando-se o cálculo de ponderações a atribuir, em função da retenção de água em cada camada apresentada [43].

A possibilidade de retenção de água pelo tipo de culturas existentes ao longo da bacia hidrográfica poderá favorecer o aumento de água em determinadas zonas, e com isto levar à existência de acumulações significativas. Note-se uma clara predominância de Áreas Agrícolas Heterogéneas, Zonas Húmidas Litorais, Águas Interiores e Águas Marinhas e Costeiras, o que induz a grandes coeficientes de retenção de água (**Figura 28**).

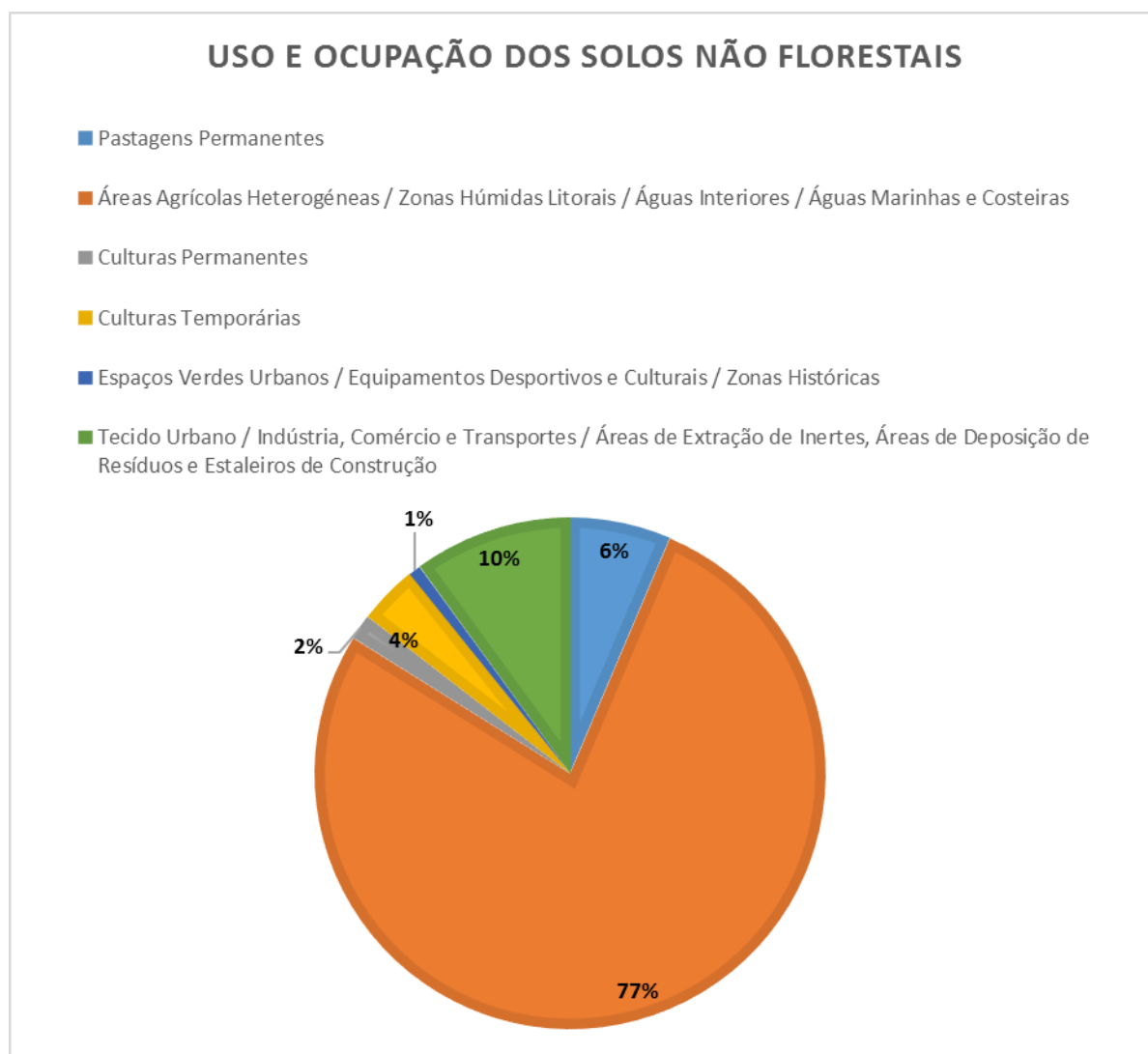


Figura 28 - Análise dos Solos Não Florestais da Bacia Hidrográfica do Lima

A existência de *Pastagens Permanentes* (azul claro) pressupõe grandes quantidades de água retida em si. Dadas as suas características intrínsecas, a precipitação ocorrida armazena-se em si devido a entropia causada ao escoamento [76]; no entanto, este tipo de cultura representa apenas 6% do território que compõe a bacia hidrográfica (**Figura 28**).

Ainda com um fator de retenção de precipitação favorável, encontram-se as zonas representadas como *Áreas Agrícolas Heterogêneas*, *Zonas Húmidas Litorais*, *Águas Interiores* e *Águas Marinhas Costeiras* (laranja); que representam a maior parte dos terrenos não florestais que compõe a bacia hidrográfica, com cerca de 77% (**Figura 28**).



A existência maioritária de zonas com grande retenção de água pressupõe que haja uma grande quantidade de água retida no solo, o que irá conduzir favoravelmente ao possível aproveitamento dessas massas de água sob o ponto do potencial hídrico [43].

A ocorrência de *Culturas Permanentes* (cinza), representa uma parte minoritária da bacia hidrográfica, com cerca de 2% (**Figura 28**) da ocupação do território, no entanto este tipo de ocupação e uso do solo apresenta-se como mediano no que concerne à retenção de precipitação dada à natureza da ocupação do solo.

As culturas permanentes apresentam taxas de consumo de água relativamente constantes, e o seu comportamento ao longo do tempo mantém-se estável, pelo que a entropia que criam à precipitação toma valores pouco apreciáveis, levando a que a retenção da precipitação tome valores pouco consideráveis [76].

As *Culturas Temporárias* (amarelo) tomam valores pouco apreciáveis do ponto de vista da retenção de água uma vez que possuem necessidades de rega consideráveis e o seu contributo não pode ser analisado durante um período temporal a longo prazo. No entanto, este tipo de ocupação do solo apenas representa 4% (**Figura 28**) do território abrangido pela bacia hidrográfica [77].

Nos *Espaços Verdes Urbanos, Equipamentos Desportivos e Culturais, e Zonas Históricas* (azul escuro), o solo encontra-se pavimentado com materiais que possuem coeficientes de infiltração muito baixos, levando a que a precipitação escoe para outras zonas. Uma vez que não há uma retenção apreciável da precipitação, o potencial hídrico que este tipo de ocupação do solo apresenta é muito baixo ou deficitário. Note-se que este tipo de ocupação representa uma parte extremamente minoritária do território da bacia hidrográfica, com apenas cerca de 1% de ocupação (**Figura 28**) [43].

A existência de ocupações como: *Tecido Urbano, Indústria, Comércio e Transportes, Áreas de Extração de Inertes, Áreas de Deposição de Resíduos e Estaleiros de Construção* (verde); implica que haja uma impermeabilização do solo para a construção de infraestruturas de suporte, e ainda a criação de redes de drenagem de água. Este conjunto de ocupações do solo representa cerca de 10% (**Figura 28**) do território abrangido pela bacia hidrográfica [76], [77].



Uma vez que há a construção de redes de drenagem de água, a retenção da mesma é nula, o que implica que nestas zonas não existe potencial hídrico, dado que a água é deslocada para outras zonas que não afetem diretamente a população local.

As zonas de deposição de resíduos e os estaleiros de construção são espaços onde a impermeabilização dos solos se dá de uma forma altamente específica, para que não haja contaminação dos aquíferos, originando zonas onde a acumulação de água é nula, não contribuindo para o aproveitamento do potencial hídrico [77].

Em suma, a existência de manchas maioritariamente verdes (**Figura 29**), indica localizações com boa capacidade de retenção de água, o que induz a grandes possibilidades de aproveitamento. Note-se ainda que as manchas surgem associadas às zonas de vale, que por sua vez são contíguas às linhas de água.

Importa salientar que as manchas representadas a cinza (**Figura 29**), como se destinam a solos florestais não têm importância de cálculo nesta categoria.

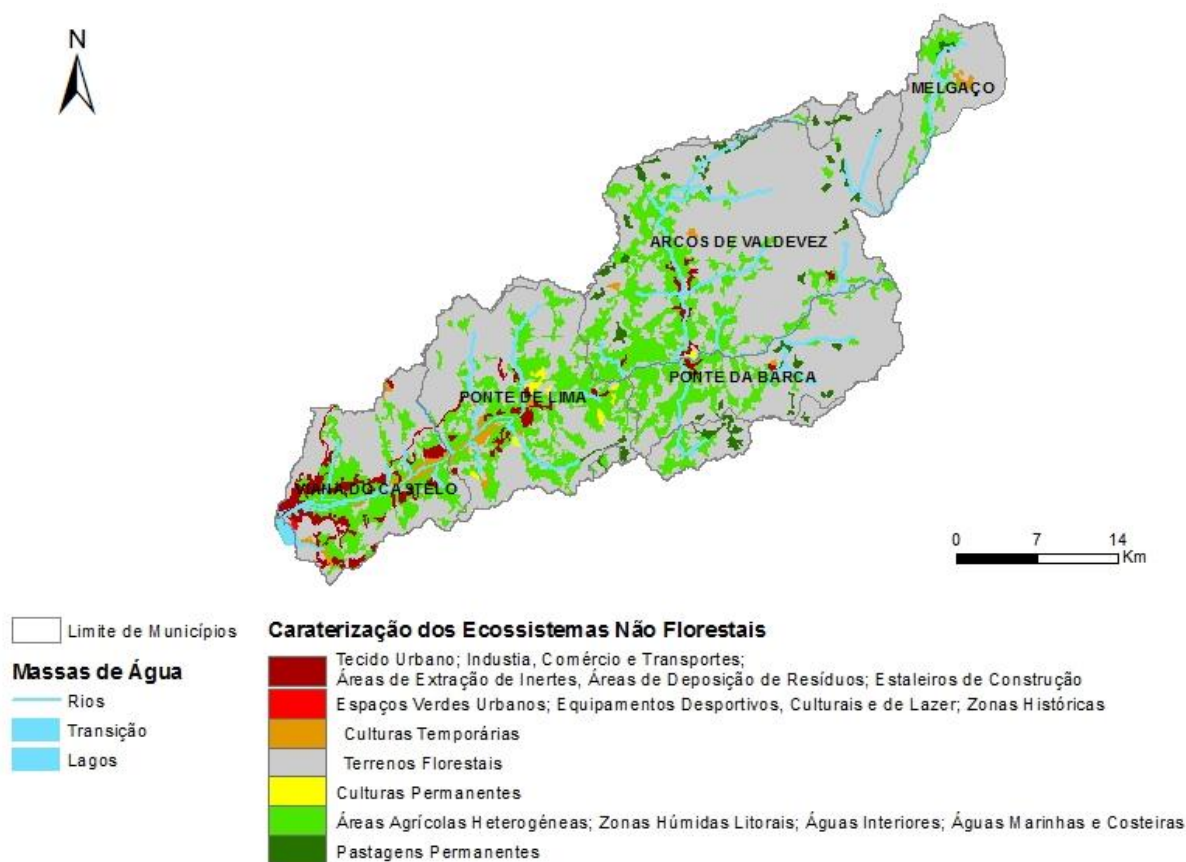


Figura 29 - Mapa da Caracterização dos Ecossistemas Não Florestais

4.2.7. ANÁLISE DO POTENCIAL HÍDRICO

A análise do *Potencial Hídrico* para a Bacia Hidrográfica do Lima foi realizada com base numa ponderação às características analisadas ao longo do **Ponto 4.2**. Cada uma das características analisadas individualmente, possui um grau de importância em função do seu contributo para a determinação do potencial hídrico.

A fórmula de cálculo (**Equação 3**) representa a importância que cada um dos fatores de cálculo detém na avaliação do potencial hídrico, sendo que da aplicação da fórmula resulta um conjunto de pontuações relativas a cada local, em função das suas aptidões hídricas [43].

A avaliação do *Potencial Hídrico* foi realizada com a criação de 5 categorias de análise, sendo que para as três primeiras encontram-se as melhores aptidões hídricas, e para as últimas duas estão representados os locais onde se encontram potenciais hídricos mais deficitários (**Figura 30**).

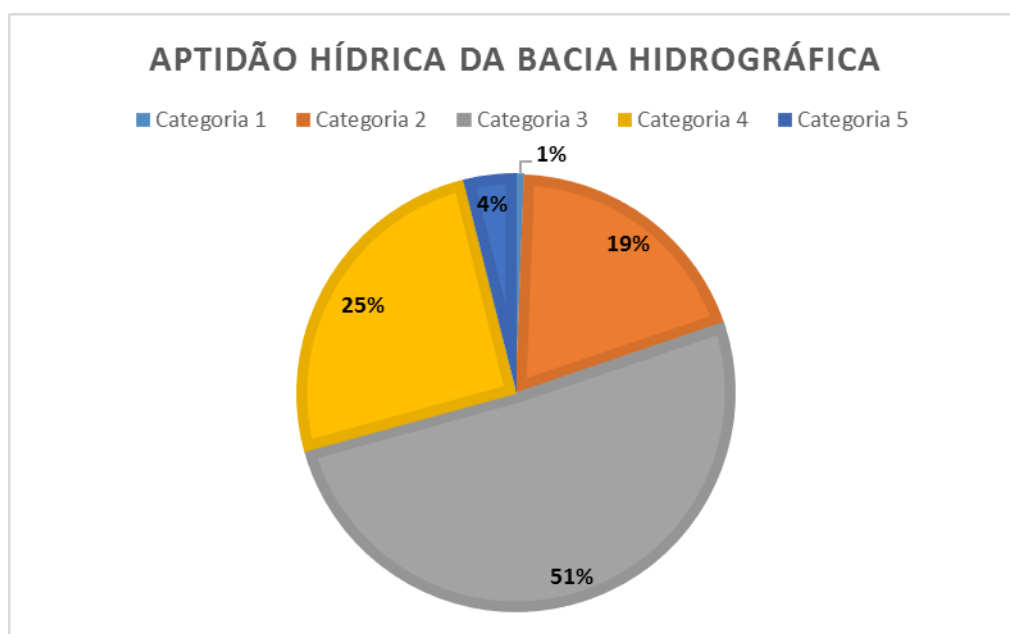


Figura 30 - Análise da Aptidão Hídrica para a Bacia Hidrográfica do Lima

A *Categoria 1* (azul claro) alberga *Aptidões Hídricas Excelentes*, mas apresenta-se apenas com um domínio de cerca de 1% (**Figura 30**), pelo que se pode afirmar que é muito pouco provável que haja possibilidades para implementação de um aproveitamento hídrico nestas condições para o território que cobre a Bacia Hidrográfica do Lima.



As condições impostas à *Categoria 1*, implicaram uma aptidão excecional de todas as caraterísticas de análise, com ênfase na criação de zonas de retenção de água consideráveis, capazes de favorecer o seu aproveitamento de uma forma extremamente otimizada [43].

A *Categoria 2* (laranja), que enverga *Boas Aptidões Hídricas*, corresponde a cerca de 19% do potencial hídrico que se pode detetar na bacia hidrográfica (**Figura 30**).

A existência de zonas caraterizadas pela *Categoria 2* leva a crer que cerca de $\frac{1}{5}$ do terreno abrangido pela bacia hidrográfica irá predispor-se de condições relativamente boas para garantir um ótimo aproveitamento hídrico. Saliente-se que o aproveitamento nesta categoria acaba por não se afastar muito daquelas que seriam as condições excelentes impostas na *Categoria 1*.

A *Categoria 3* (cinza), que se carateriza por apresentar uma *Aptidão Hídrica Moderada*, é a que representa a maior parte do território da bacia hidrográfica, com cerca de 51%, (**Figura 30**) [43].

A existência de aptidões hídricas moderadas é caraterizada pela oportunidade ponderada de aproveitamento hídrico, acabando por necessitar de um estudo mais intensivo, uma vez que a disponibilidade de recursos é mais limitada do que a que se verifica nas duas primeiras categorias.

A *Categoria 4* (amarelo) representa zonas onde a *Aptidão Hídrica é Limitada*, com uma expressividade de cerca de 25% (**Figura 30**) em toda a bacia hidrográfica [43].

A existência de zonas com aptidão hídrica limitada indicam zonas onde o aproveitamento se torna inviável dada a escassez de recursos, bem como de falta de condições propícias ao seu aproveitamento.

Com cerca de 4% (**Figura 30**) correspondente à *Categoria 5* (azul escuro), estão representadas as zonas de *Aptidão Hídrica Muito Limitada ou Deficitária*.

A existência de zonas com aptidões hídricas muito limitadas é caraterizada pela ocorrência de locais onde o potencial hídrico é praticamente inexistente, levando a que não haja condições de aproveitamento [43].

A maioria do território que compõe a Bacia Hidrográfica do Lima apresenta condições de aproveitamento do potencial hídrico, com cerca de 71% (sendo este resultado fruto da soma das três primeiras categorias). Estas categorias poderão representar especial interesse, uma vez que o aproveitamento do potencial poderá ser efetuado de uma forma relativamente eficiente.

Saliente-se que é a *Categoria 2*, com cerca de $\frac{1}{5}$ da representação da bacia hidrográfica, que detém um maior interesse e maior facilidade de aproveitamento, levando a concluir que uma parte considerável do território da Bacia Hidrográfica do Lima induz aptidões hídricas apreciáveis [43].

Em suma, a bacia hidrográfica (**Figura 31**) apresenta-se maioritariamente composta por aptidões hídricas moderadas (amarelo). No entanto, nos Concelhos de Arcos de Valdevez e Ponte de Lima há uma predominância de boas aptidões hídricas (verde) junto das linhas de água o que poderá favorecer o aproveitamento dos recursos hídricos com fins energéticos, caso se verifiquem potenciais energéticos relevantes.

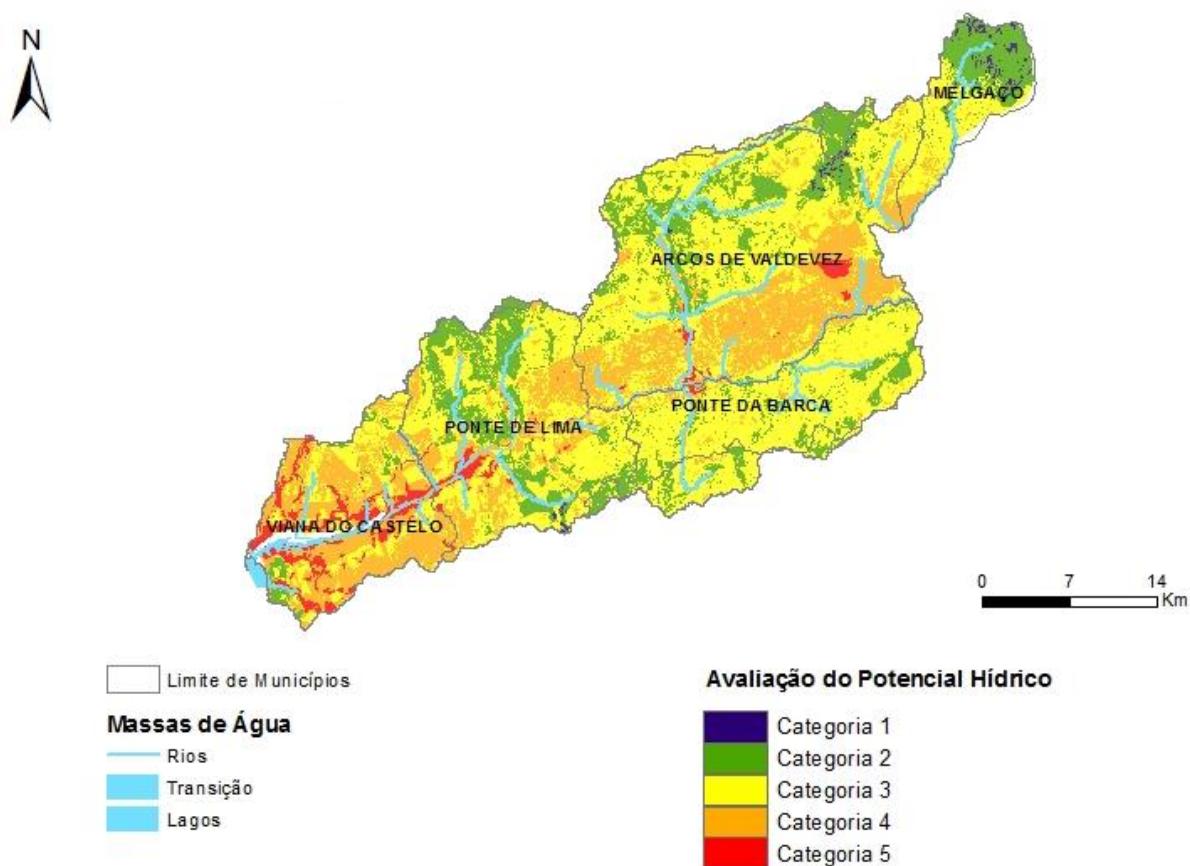


Figura 31 - Mapa de Classificação do Potencial Hídrico

4.3.1. ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO RELATIVO EM FUNÇÃO DO POTENCIAL HÍDRICO

A Bacia Hidrográfica do Lima apresenta-se com *Potencial Energético Relativo* considerável para as zonas onde se apresentam inseridas nas áreas correspondentes às 3 primeiras *Categorias de Potencial Hídrico* (**Figura 33**).

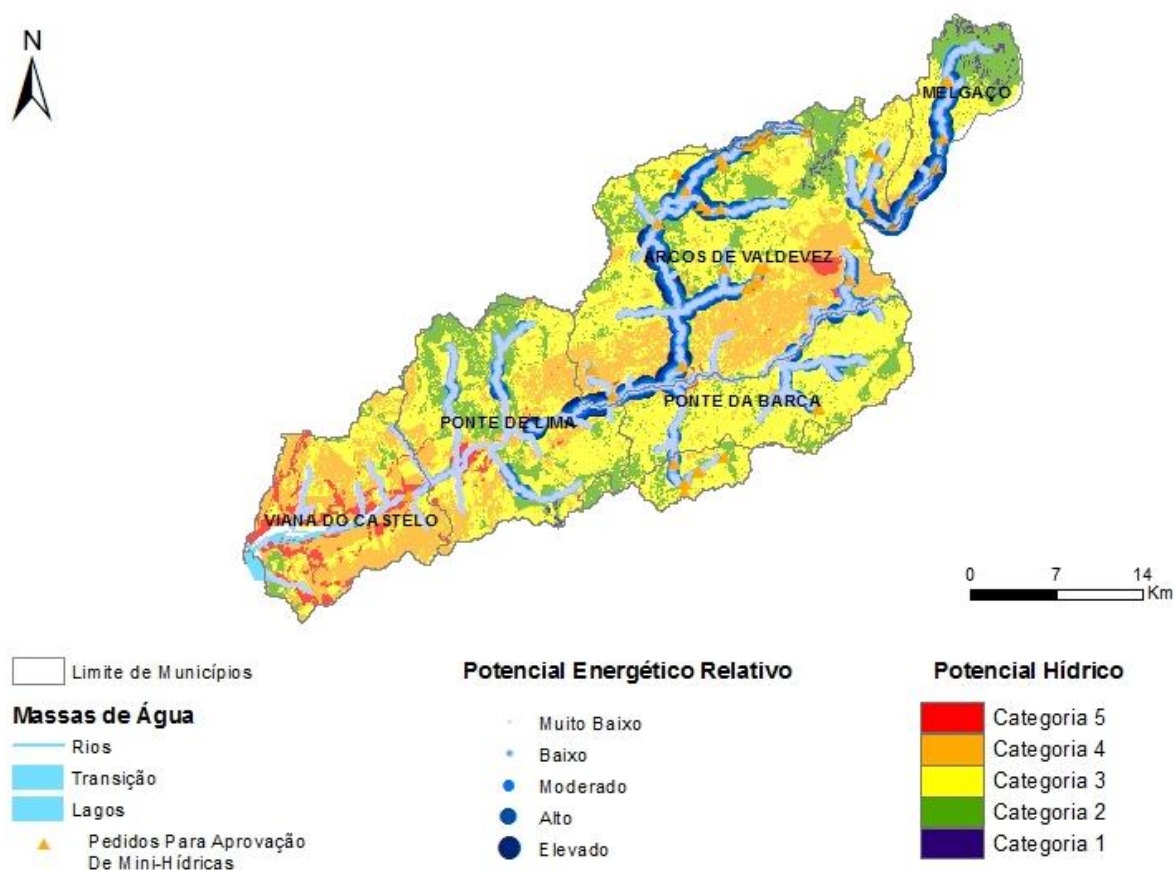


Figura 33 - Mapa do Potencial Energético Relativo em Função do Potencial Hídrico

As Três Primeiras Categorias do Potencial Hídrico encontram-se associadas a Boas Capacidades de Retenção de Água nos solos que compõe a bacia, o que irá fazer com que a recarga dos aquíferos existentes se dê de uma forma otimizada.

Torna-se muito importante que a recarga dos aquíferos se realize de uma forma bastante otimizada, de forma que estes garantam que o leito dos cursos de água se encontre mediantemente regulado, por forma a combater os períodos de seca [52].

A Aptidão Hídrica associa-se diretamente com o Potencial Energético Relativo na medida em que garante um caudal de afluente regular, que por sua vez será um bom indicador do aproveitamento energético.



É ainda importante salientar que a estes fatores associa-se a diferença de altitudes ao longo dos cursos de água, sendo proporcional ao caudal no cálculo do potencial energético [52].

É possível observar que é nas zonas manchadas a verde e amarelo (Potencial Hídrico) que há uma maior indicação de aptidão energética, manchada a azul mais escuro (Potencial Energético Relativo) (**Figura 33**). Pode ainda referir-se que há um maior domínio das cores verde e amarelo (Potencial Hídrico), o que leva a dizer que maior parte do território da bacia hidrográfica se apresenta favorável ao estudo.

A análise ao *Potencial Hídrico* permite identificar o Concelho de Viana do Castelo como aquele onde se verificam as *Piores Aptidões Hídricas* (laranja e vermelho), resultado do tipo de solos que compõe os locais e da precipitação ocorrida. Saliente-se ainda que uma pequena parte dos Concelhos de Ponte de Lima e Arcos de Valdevez também apresenta baixas aptidões hídricas.

Em aspeto de síntese, saliente-se a maior quantidade de *Pedidos de Aprovação de Mini-Hídricas* se concentram nos Concelhos de Arcos de Valdevez, Ponte da Barca e Ponte de Lima, surgindo alinhados com o maior Potencial Energético Relativo verificado nos cursos de água existentes nessas zonas.

Importa ainda destacar que é na zona de Arcos de Valdevez que a *Maior Aptidão Hídrica* (verde) surge associada ao *Elevado Potencial Energético Relativo* (azul mais escuro), o que leva a crer que é aquela região que reúne as *Melhores Condições ao Aproveitamento Energético* ao longo de toda a extensão da Bacia Hidrográfica do Lima.

4.4. ANÁLISE DA EXPLORABILIDADE ENERGÉTICA

A análise da Explorabilidade Energética consistiu na avaliação que determinado local desperta ao aproveitamento do potencial mini-hídrico em função de uma exploração racional dos recursos, ou seja, tendo em conta fatores ambientais e socioeconómicos [32].

4.4.1. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA REDE VIÁRIA

A *Rede Viária* influencia diretamente o desenvolvimento de qualquer região, apresentando-se como efeito motivador às áreas que se encontram envoltas na sua periferia.

Na **Figura 34**, apresenta-se a distribuição percentual da *Densidade da Rede Viária* ao longo da bacia hidrográfica, e na **Figura 35**, representa-se a *Densidade da Rede Viária* em contraste com o *Potencial Energético Relativo*.

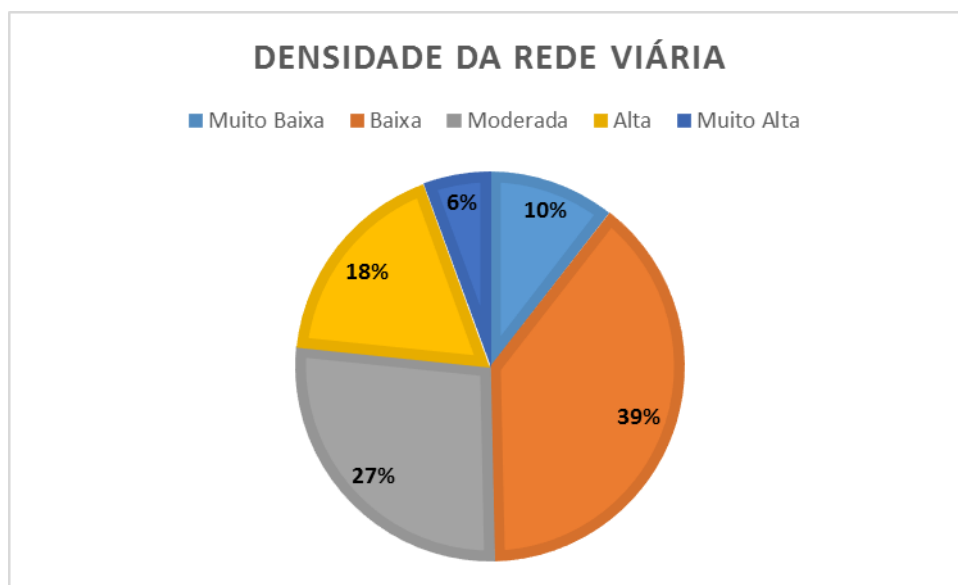


Figura 34 - Análise da Densidade da Rede Viária

Verifica-se que 49% do território abrangido pela bacia hidrográfica apresenta uma *Densidade de Vias Muito Baixa e Baixa* (azul claro e laranja) (**Figura 34**). Isto permite afirmar que cerca de metade do território apresenta acessos muito deficitários em relação às principais vias de acesso [29].

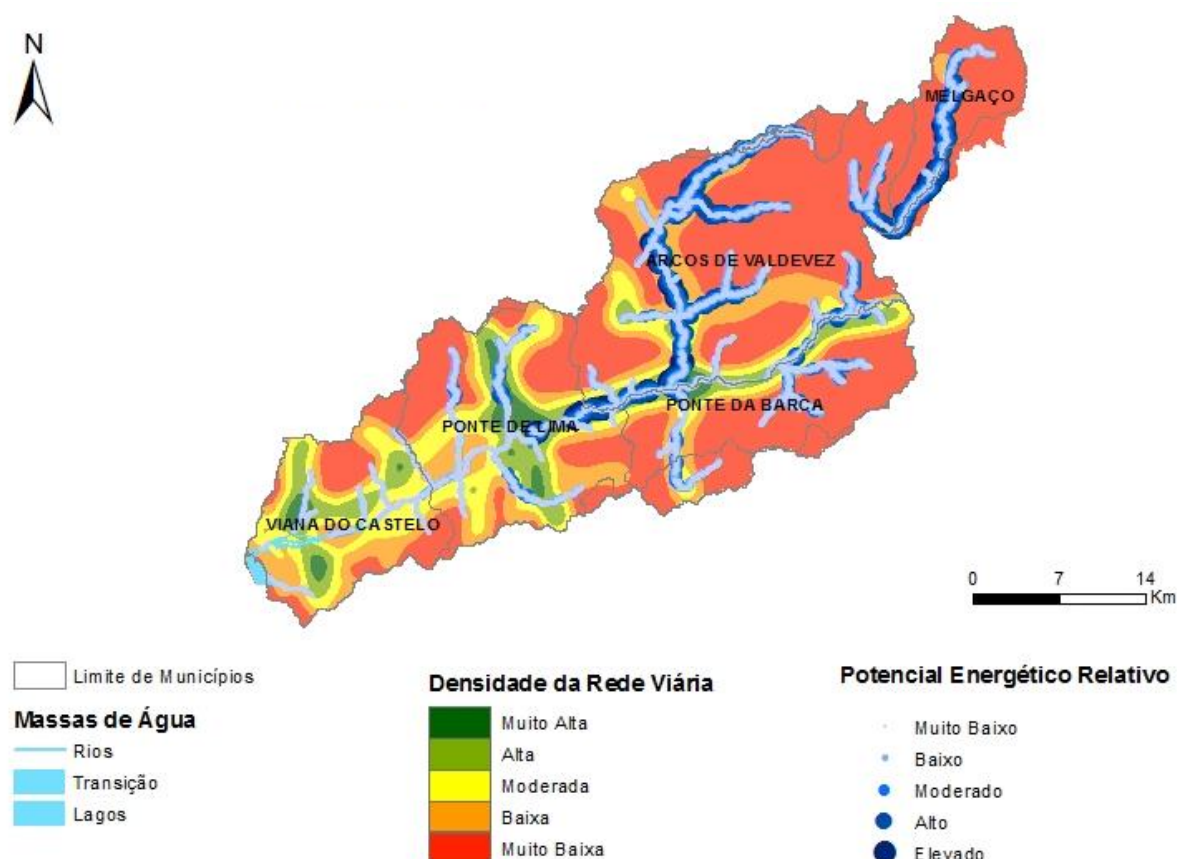


Figura 35 - Mapa da Densidade da Rede Viária

Note-se que a apesar de metade do território apresentar uma *Densidade de Vias Baixa e Muito baixa* (laranja e vermelho) (**Figura 34**), as zonas de potencial energético relativo afetas a esta classe situam-se nos Municípios de Melgaço e Arcos de Valdevez (**Figura 35**), o que leva a concluir que o potencial energético relativo verificado nessas zonas terá grandes condicionantes de acesso, que por conseguinte porá em causa a sua explorabilidade.

É possível averiguar que cerca de 27% do território abrangido pela bacia hidrográfica (**Figura 34**) apresenta uma *Densidade de Vias Moderada* (cinza). No entanto, quando comparada com a representação de *Densidade de Vias Moderada* (amarelo) (**Figura 35**), constata-se que a maior parte do *Potencial Energético Relativo* com apreciação considerável não se apresenta dentro desta classe.

Com *Densidades Altas e Muito Altas* (amarelo e azul escuro), apresenta-se cerca de 24% do território da bacia hidrográfica (**Figura 34**). Importa salientar que são as *Densidades de Vias Altas e Muito Altas* (verde claro e verde escuro) (**Figura 35**), que englobam a maior parte do potencial energético relativo de maior importância ao

seu aproveitamento, o que leva a crer que será um motivo forte à sua exploração, visto que a facilidade de acesso será um forte aliado [28].

4.4.2. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CONDICIONANTES À GESTÃO AMBIENTAL E CONSERVAÇÃO DA NATUREZA

A existência de *Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza* leva a que a criação de novas infraestruturas se processe segundo regras mais restritas e sempre acompanhadas de Estudos de Impacto Ambiental, pelo que quanto maior for o compromisso de determinada região em função das condicionantes à gestão ambiental e conservação da natureza, pior será a aptidão que desperta sob o ponto de vista da explorabilidade energética [30].

O compromisso do território que compõe a bacia hidrográfica, no que respeita às *Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza*, indica que maior parte do território se apresenta Sem Condicionantes ou com 1 Condicionante à explorabilidade energética (**Figura 36**). Note-se que o maior compromisso é verificado para os Concelhos de Arcos de Valdevez, Melgaço e Ponte da Barca (**Figura 37**).

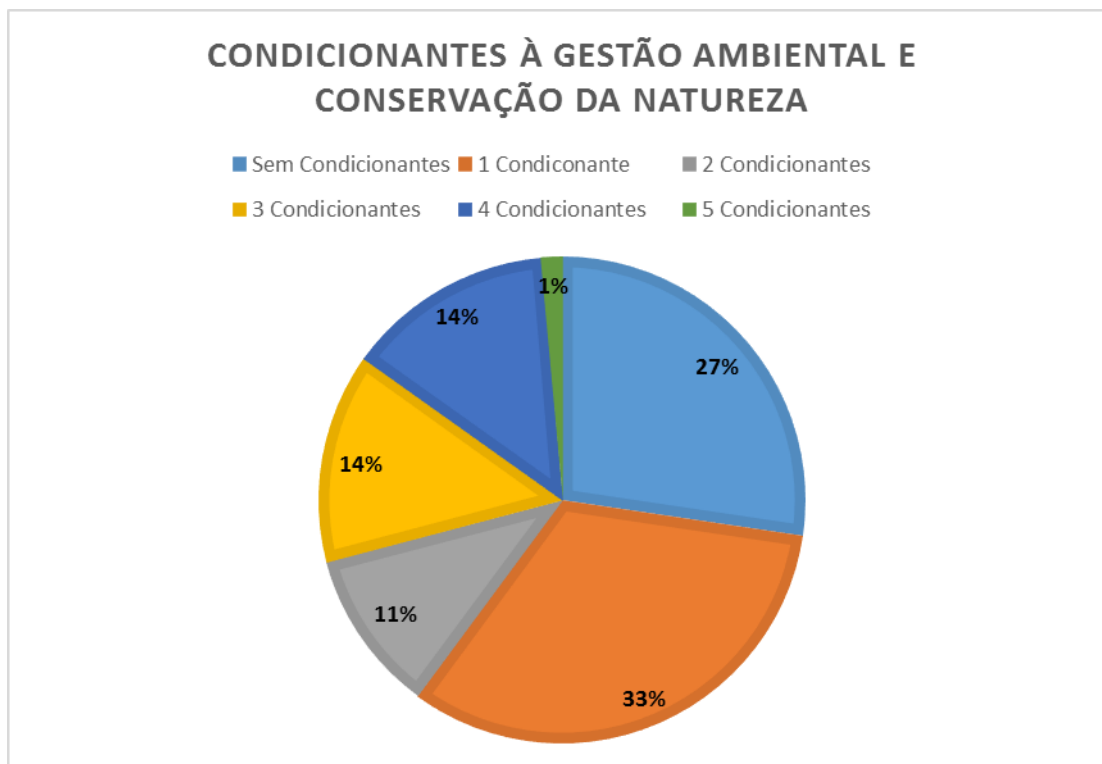


Figura 36 - Análise das Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza

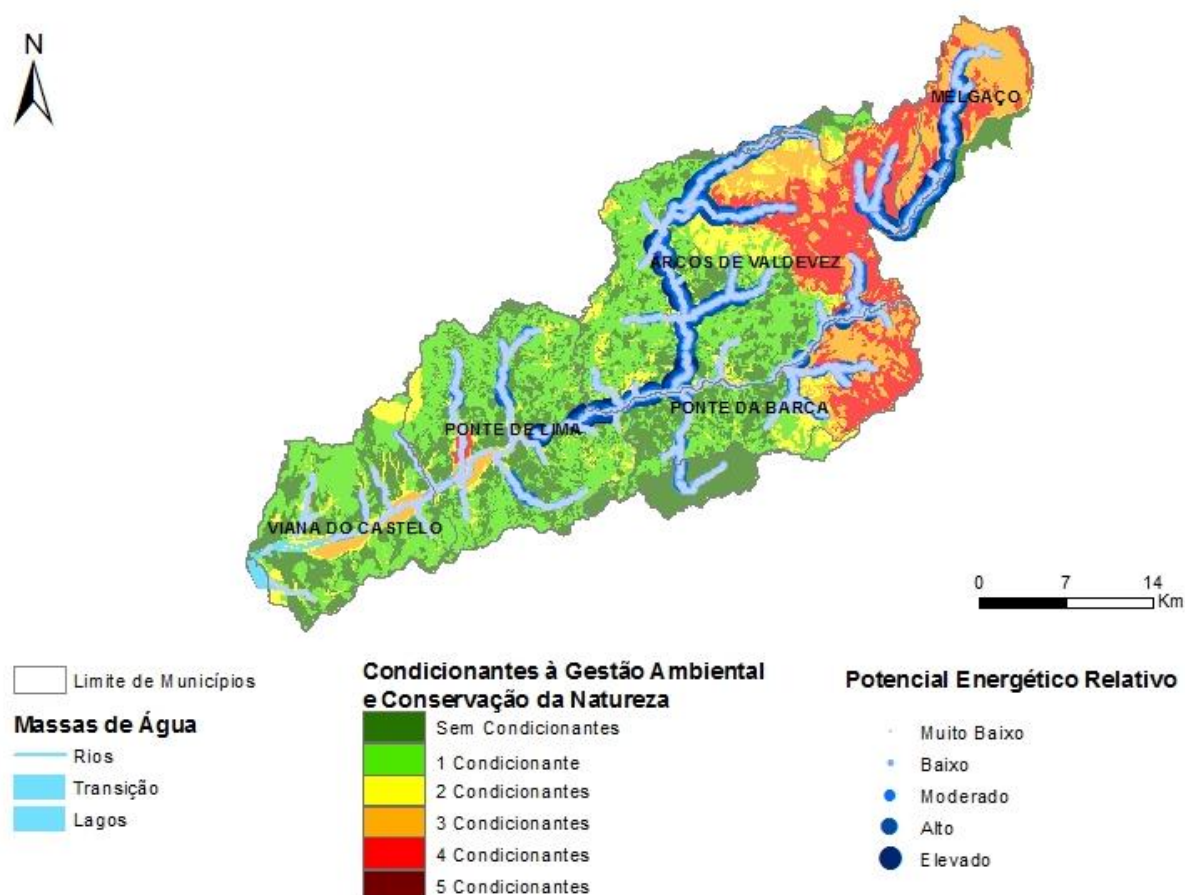


Figura 37 - Mapa das Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza

É possível identificar que cerca de 27% do território abrangido pela bacia hidrográfica (**Figura 36**) se apresenta *Sem Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza* (azul claro), o que leva a concluir que perto de $\frac{1}{4}$ do território da bacia se apresenta sem condicionalismos legais à explorabilidade energética [30].

Pode ainda afirmar-se que as localizações que se apresentam *Sem Condicionantes* (verde escuro) (**Figura 37**) e em simultâneo apresentam um *Potencial Energético Relativo Considerável* (azul mais escuro), se distribuem no Concelhos de Ponte de Lima, Ponte da Barca e Arcos de Valdevez, sendo que para estes dois últimos se tratam das localizações que não se encontram inseridas no Parque Nacional da Peneda-Gerês.

Identifica-se uma distribuição de cerca de 44% (**Figura 36**), correspondente às áreas que se apresentam com *1 ou 2 Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza* (laranja e cinza), o que indica que cerca de metade do território

abrangido pela bacia hidrográfica dispõe de alguns condicionalismos ao aproveitamento energético, o que leva a induzir que ao realizar-se um aproveitamento nestas áreas, é obrigado a Avaliação de Impacto Ambiental.

Observam-se zonas de *Potencial Energético Relativo Moderado* (**Figura 37**), nos Concelhos de Ponte de Lima, Arcos de Valdevez e Ponte da Barca (nestes dois últimos tratam-se apenas de localizações não abrangidas no Parque Nacional da Peneda-Gerês), apresentando-se com *1 ou 2 Condicionais Legais*, o que leva a concluir que estes locais poderão indicar ligeiros constrangimentos à exploração sustentável de energia.

Com cerca de 29% (**Figura 36**), apresentam-se as localizações que abrangem *3, 4 ou 5 Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza*, o que leva a induzir que se tratem de locais *Pouco Sustentáveis* do ponto de vista da *Exploração de Recursos Energéticos* [30].

Salienta-se que as localizações que albergam os *3 Maiores Regimes de Condicionais Ambientais* (laranja, vermelho, e vermelho escuro) (**Figura 37**) se situam dentro do Parque Nacional da Peneda Gerês (Arcos e Valdevez, Ponte da Barca e Melgaço) e nas Lagoas de S. Pedro de Arcos (Ponte de Lima). O Potencial Energético Relativo presente nesses locais apresenta uma expressão bastante considerável, sobretudo nos Concelhos de Arcos de Valdevez e Melgaço, levando a concluir que a sua *Explorabilidade* seja *Verdadeiramente Dificultada* em função dos *Condicionais Ambientais*, no entanto não é impossível realizar aproveitamentos energéticos nesses locais, sendo obrigados à realização de AIA e ainda à implementação de medidas de mitigação.

4.4.3. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA REDE ENERGÉTICA

A influência da Rede Energética no aproveitamento mini-hídrico prende-se com o distanciamento que os determinados locais apresentam às redes de transporte, pelo que a menor distâncias corresponderão fatores de explorabilidade energética superiores [60].

A maior parte do território que abrange a bacia hidrográfica, encontra-se com um distanciamento da rede energética bastante grande (**Figura 38**).

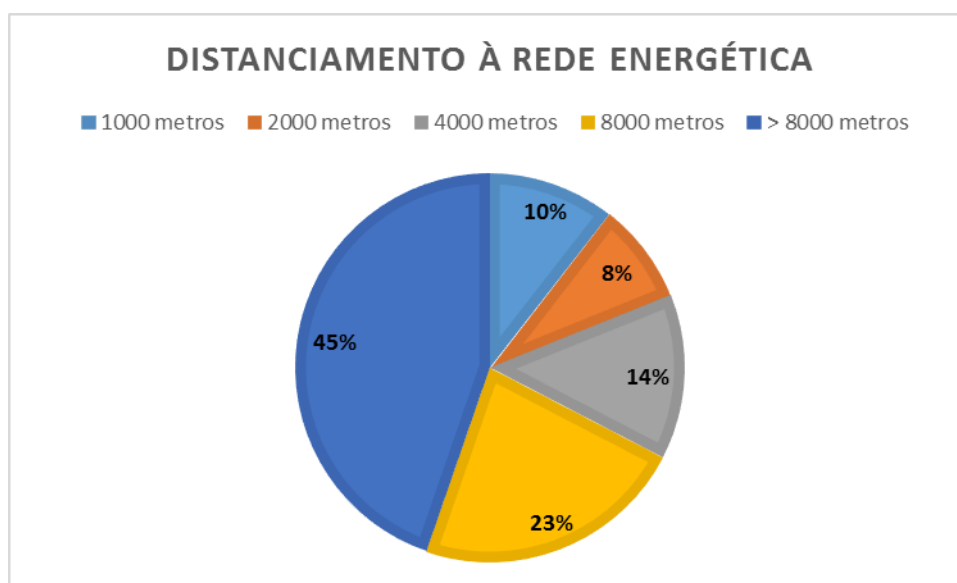


Figura 38 - *Análise do Distanciamento à Rede Energética*

A vermelho encontram-se grandes distanciamentos à rede energética de alta tensão (**Figura 39**), o que leva a crer que a realizar um aproveitamento nessas zonas, será obrigado à construção de novas linhas energéticas, o que diminuirá a explorabilidade dos locais.

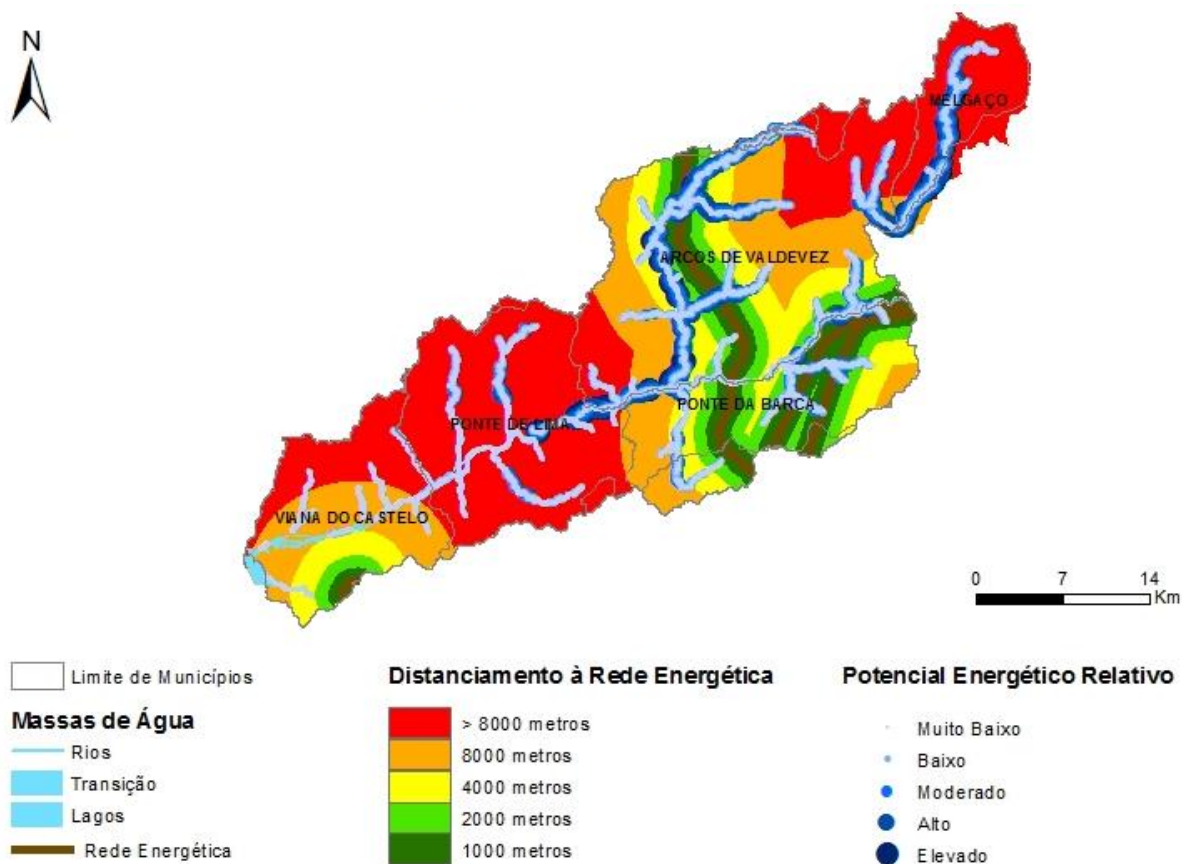


Figura 39 - *Mapa de Distanciamento à Rede Energética*

Verifica-se que a maior parte do território abrangido pela bacia hidrográfica se apresenta com um distanciamento das linhas energéticas superior a 8000 metros, representando cerca de 45% (**Figura 38**) do território (azul escuro).

As zonas de *Maior Afastamento das Linhas Energéticas* (**Figura 39**) situam-se nos concelhos de Ponte de Lima e Melgaço, o que leva a crer que o *Potencial Energético Relativo* verificado nestas zonas, que representa alguma expressividade, torna-se menos viável do ponto de vista da explorabilidade sustentável uma vez que se situa num raio de afastamento das linhas energéticas superior a 8 km [60].

Com um *Afastamento até 8000 metros*, apresenta-se uma distribuição de cerca de 23% (amarelo) (**Figura 38**), o que leva a crer que cerca de $\frac{1}{4}$ do território abrangido pela bacia se apresenta com afastamento muito considerável das linhas energéticas.

Os Concelhos de Ponte da Barca e Arcos de Valdevez apresentam um *Potencial Energético Relativo Considerável* numa *Faixa de Afastamento de 8 km* das linhas energéticas (laranja) (**Figura 39**). Isto induz a uma explorabilidade de recursos deficitária uma vez que a ligação à rede elétrica irá acarretar custos consideráveis.

Os Concelhos da Ponte da Barca e Arcos de Valdevez possuem em seus territórios linhas de transporte de energia (**Figura 39**), no entanto, para *Faixas de 4000 metros* (amarelo), verificam-se localizações com uma *Explorabilidade Energética Moderada* no que respeita às questões de ligação à rede energética. Importa salientar que para ambos os Concelhos indicados se verificam localizações com *Potencial Energético Relativo Elevado*.

Para uma *Faixa de Distanciamento de 4000 metros* (cinza) (**Figura 38**), encontra-se representado cerca de 14% do território que compõe a bacia hidrográfica.

Verifica-se que para *Faixas de Distanciamento de 1000 e 2000 metros* (verde escuro e verde claro) (**Figura 39**), encontram-se as zonas pertencentes aos Concelhos de Arcos de Valdevez e Ponte da Barca, o que permite concluir que é nestas áreas que se encontram as localizações com melhores indicadores de explorabilidade energética em função do distanciamento das linhas de alta tensão. Saliente-se que nessas zonas existe um *Potencial Energético Relativo Considerável*. As *Faixas de*



Afastamento de 1000 e 2000 metros representam 18% do território da bacia hidrográfica (Figura 38) [60].

Pode verificar-se que o Concelho de Melgaço apresenta um *Potencial Energético Relativo Elevado (Figura 39)*, no entanto o distanciamento à rede energética apresenta-se como inibidor da eficiência de aproveitamento, e acaba por reduzir a explorabilidade desses locais.

4.4.4. ANÁLISE DO MAPA DE EXPLORABILIDADE ENERGÉTICA

O resultado do estudo da Explorabilidade Energética centra-se no estudo de locais onde haja um claro interesse de aproveitamento mini-hídrico, alinhado com os fatores de exploração racional.

A Bacia Hidrográfica do Lima apresenta-se com uma *Explorabilidade Energética Maioritariamente Boa*, e sobrepondo-lhe a Carta de *Potencial Energético Relativo*, pode verificar-se que (regra geral) nas zonas de maior interesse energético encontram-se nas áreas mais exploráveis (**Figura 40**).

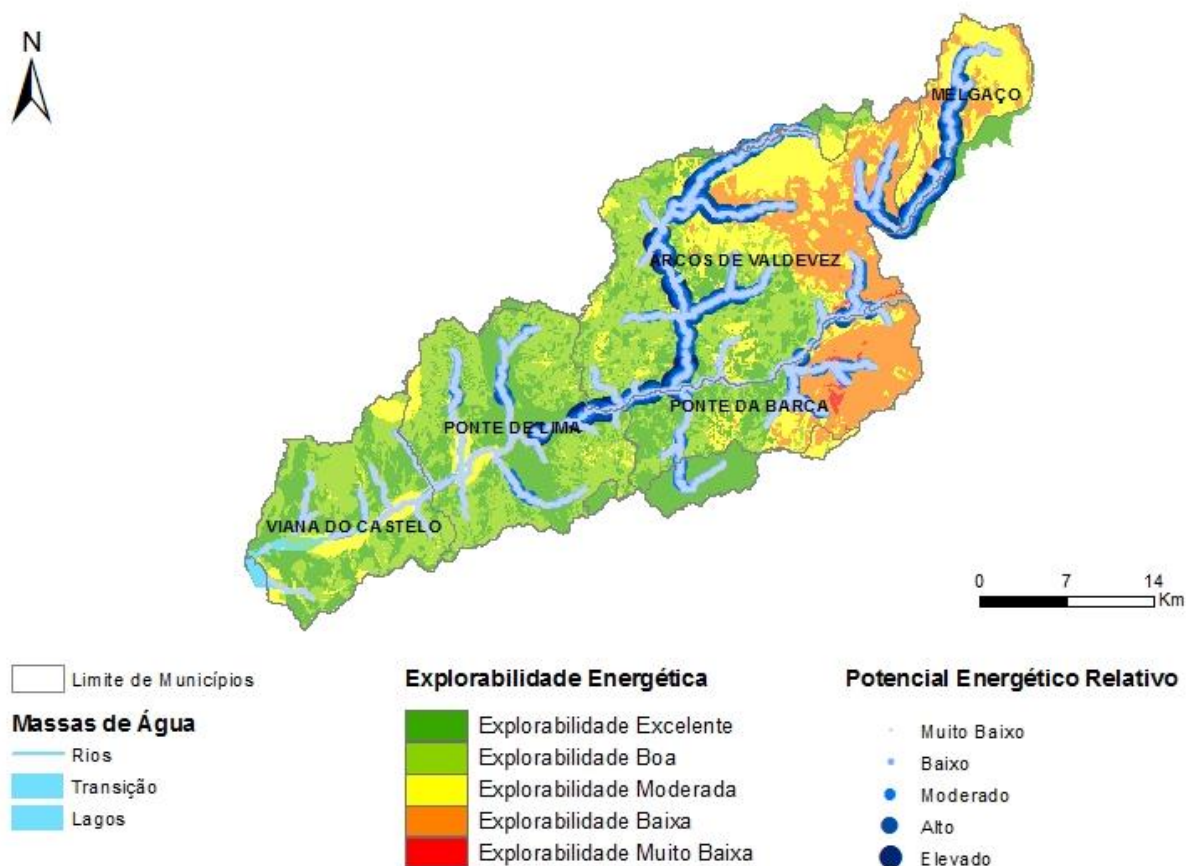


Figura 40 - Mapa da Explorabilidade Energética



A maior parte do território que compõe a bacia hidrográfica apresenta uma *Explorabilidade Excelente e Boa* (verde escuro e verde claro) (**Figura 40**), o que leva a induzir que o aproveitamento do potencial energético poderá ser obtido em Condições de Explorabilidade Boas, o que tornará os projetos viáveis ao nível produtivo e ao nível socioeconómico [30].

Os Concelhos de Ponte de Lima, Arcos de Valdevez e Ponte da Barca e Viana do Castelo, apresentam as *Melhores Explorabilidades Energéticas*, no entanto é nos três primeiros que se verificam *Potenciais Energéticos Relativos Mais Elevados*. Aliando o *Potencial Energético Relativo à Boa Explorabilidade* destes locais, pode concluir-se que se tratam das localizações de melhor interesse.

O Concelho de Viana do Castelo, apesar de apresentar bons indicadores de *Explorabilidade Energética*, não representa *Potencial Energético Relativo Apreciável* ao seu aproveitamento, pelo que não fará sentido indicar possibilidade de aproveitamentos energeticamente exploráveis nessa área.

Verifica-se que uma parte considerável do território dos Concelhos de Arcos de Valdevez, Ponte da Barca e Melgaço apresenta fatores de *Explorabilidade Energética Muito Reduzida* (**Figura 40**). Estas localizações resultam das áreas abrangidas pelo Parque Nacional da Peneda-Gerês, que dada a sua natureza legal impõe grandes condicionantes à implementação de infraestruturas para aproveitamento energético.

Saliente-se o facto de existirem *Potenciais Energéticos Relativos de Especial Interesse* nos Concelhos de Melgaço e Arcos de Valdevez, no entanto, dada a sua inclusão no Parque Nacional da Peneda-Gerês, a *Explorabilidade* destes locais torna-se muito baixa, levando a que a realização dos aproveitamentos se torne mais dificultada com obrigatoriedade de AIA e ainda a existência de realização de medidas de mitigação [30].

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS



No quadro das necessidades energéticas crescentes da sociedade, em particular de fontes e formas de energias renováveis, o estudo *Avaliação do Potencial Hidroelétrico – Uso de SIG na Bacia do Rio Lima*, permitiu identificar que todo o território apresenta predisposição para o aproveitamento de recursos hídricos de uma forma significativa.

O estudo do *Potencial Hídrico* salienta que 71% da bacia hidrográfica possui uma aptidão hídrica bastante considerável, fundamental para assegurar eficientemente a recarga dos aquíferos existentes e a regularidade inter e intra-anual dos caudais das linhas de água.

A recarga dos aquíferos contribui para que haja um caudal bastante regular na maioria dos cursos de água existentes ao longo da bacia hidrográfica, levando a que desperte interesse sob o ponto de vista energético. A regulação do caudal apresenta-se como um fator de especial interesse, em função da produção de energia elétrica, uma vez que os grupos turbina-gerador apenas funcionam numa gama de caudais, para os quais foram dimensionados. A ocorrência de períodos de seca ou de caudais de cheia poderá levar à inoperacionalidade da central electroprodutora, que por conseguinte causará perda de rentabilidade ao aproveitamento.

O estudo do *Potencial Energético Relativo*, sob o ponto de vista do planeamento de recursos hidroelétricos, apresenta aptidões de considerável interesse em determinadas zonas dos Concelhos de Arcos de Valdevez, Ponte de Lima e Ponte da Barca, representando *Potenciais Altos e Elevados*, que poderão levar à implementação de pequenas centrais hídricas com grande coeficiente de produção.

A sobreposição dos *Potenciais Hídrico e Energético Relativo* para as Mini-Hídricas aponta para a existência de zonas de aproveitamento de interesse energético considerável, em particular nos principais sub-efluentes do terço superior e médio da bacia.

A *Explorabilidade Energética* surge como o fator diferenciador e comparativo entre as localizações potenciais pelo cruzamento dos *Potenciais Hídrico e Energético Relativo*, promovendo aquelas onde aconteçam menores *Condicionantes à Gestão Ambiental e Conservação da Natureza*, uma menor *Distância à Rede Energética de Alta Tensão*, e grande *Densidade à Rede Viária*.



Numa análise às *Condicionantes de Gestão Ambiental e Conservação da Natureza*, importa salientar que as Sub-Bacias Hidrográficas do Rio Vez e do Rio Castro Laboreiro apresentam grande aptidão de aproveitamento energético, mas que no entanto são penalizadas por se encontrarem, na maior parte da sua extensão, inseridas no Parque Nacional da Peneda-Gerês.

O *Distanciamento à Rede Energética* acaba por favorecer todas as localizações que se encontram num raio de proximidade da Rede de Alta Tensão. Esta condicionante favorece as localizações de Potencial Energético Relativo detetado nos Concelhos de Ponte da Barca e Arcos de Valdevez.

A *Densidade da Rede Viária* acaba por favorecer todas as localizações detetadas no Concelho de Ponte de Lima, motivado pelo facto deste concelho predispor de excelentes vias rodoviárias, o que facilitará em grande parte o acesso às possíveis localizações detetadas.

Em suma, é importante afirmar que as melhores localizações com possibilidade de *Aproveitamento Energético* se encontram no Concelho de Ponte de Lima, Arcos de Valdevez e Ponte da Barca (neste dois últimos, tratam-se das localizações que não são inseridas no Parque Nacional da Peneda-Gerês). Os valores obtidos indicam para o interesse em realizar Estudos de Projeto de Pequenas Centrais Hídricas em locais específicos e concretos, inseridos nos troços identificados.

Este estudo cruza o *Potencial Hídrico* (Modelo IRBM) com o *Potencial Energético Relativo* (acumulação de áreas contribuintes para o caudal e diferença de cotas ao longo das linha de água) e as restrições de fatores de *Explorabilidade Energética*. As melhorias do modelo podem acontecer ao longo das diversas componentes dos trabalhos, nomeadamente:

- *Modelação dos Caudais Médios e Extremos* (com diferentes períodos de retorno) ao longo das linhas de água principais e secundárias das sub-bacias do rio Lima com recurso aos modelos espacialmente explícitos HEC-HMS e HEC-RAS conforme trabalhos realizados anteriormente para os principais canais [78];



- *Calibração e Validação do Modelo Hidrológico* com a definição de valores de caudal para cada ponto com uma regularidade coerente numa malha assumida nomeadamente em cada 50 metros na linha de água [52];

Estes métodos permitem o cálculo detalhado do *Potencial Energético Quantitativo e Absoluto* em cada ponto (cada 50 m), de forma a que o estudo sirva como suporte à tomada de decisão de pedido, comparação e aprovação de *Aproveitamentos Mini-Hídricos na Bacia Hidrográfica do Lima*. Outros avanços podem acontecer na modelação de provisão de água e recarga dos aquíferos para a linha de água bem como, do aumento do número de fatores a considerar e melhorias em termos do peso dos critérios considerados na avaliação da explorabilidade.

A definição do caudal para todas as linhas de água prevista no Artigo 13º da DQA e os avanços no cálculo do potencial energético absoluto e condicionantes à explorabilidade poderá corresponder a ganhos de apoio à decisão estratégica e operacional seja para os potenciais operadores, para a administração e processos de agilização e fundamentação dos processos implícitos aos pedidos de aproveitamento.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. *Direção Geral da Agricultura e do Desenvolvimento Rural. Recursos Hídricos.*
Consultado de março a junho de 2015.
<http://www.dgadr.mamaot.pt/rec-hid>
- [2]. *Lei nº 58/2005*, Diário da República, I Série-A – Nº249 – 29 de Dezembro de 2005.
- [3]. *Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000*, Jornal Oficial das Comunidade Europeias, L327/1 – 22 de Dezembro de 2000.
- [4]. *Resolução do Conselho de Ministros nº 29/2010*, Diário da República, 1ª série – Nº73 – 15 de Abril de 2010
- [5]. Kapil Narula and B. Sudhakara Reddy, *A system os systems approach to energy sustainability assessment: Are all renewables really green?*. Ecological Indicators, 2015 **52**: p.194 – 206.
- [6]. Evelina Trutnevyte, *EXPANSE methodology for evaluating the economic potential of renewable energy from na energy mix prespective*. Applied Energy, 2013 **111**: p.593-601.
- [7]. *PORDATA, Base de Dados de Portugal Contemporâneo. Energia.*
Consultado de fevereiro a maio de 2015.
<http://www.pordata.pt/Subtema/Portugal/Energia-90>
- [8]. Paul A. Williams, *Projections for the geopolitical economy of oil after war in Iraq*. Futures, 2006 **38**: p.1074-1088.
- [9]. Menezes, M.S., *Development of geothermal resources in Portugal*. Geothermics, 1988 **17**: p.566-574.
- [10]. Duarte Carvalho, João Wemans, João Lima, Isabel Malico, *Photovoltaic energy mini-generation: Future prespectives for Portugal*. Energy Policy, 2010 **39**: p.5465-5473.
- [11]. Ivonne Peña, Inês Lima Azevedo, Luis António Ferreira, *Economic analysis of the profitability of existing wind parks in Portugal*. Energy Economics, 2014 **45**: p.353-363.



- [12]. M. Isabel P. Lima, Fátima Espírito Santo, Sofia Cunha, Álvaro Silva, *Tendências nos extremos de precipitação em Portugal Continental em 1941-2012*, Departamento de Geografia da Universidade de Coimbra, 2013.
- [13]. *Resolução do Conselho de Ministros nº 80/2008*, Diário da República, 1ª série – Nº97 – 20 de Maio de 2008.
- [14]. Rede Elétrica Nacional, S.A., *Hidraulicidade em Portugal: memória e desafio*. 2008.
- [15]. Liliana Fernandes and Paula Ferreira, *Renewable energy scenarios in the Portuguese electricity system*. Energy, 2014 **69**: p.51-57.
- [16]. Luc Denys, Jeroen Van Wichelen, Jo Packet, Gerald Louette, *Implementing ecological potential of lakes for the Water Framework Directive – Approach in Flanders (northern Belgium)*. Limnologia – Ecology and Management of Inland Waters, 2014 **45**: p.38-49.
- [17]. *Resolução do Conselho de Ministros nº 1/2008*, Diário da República, 1ª série – Nº3 – 4 de Janeiro de 2008.
- [18]. *Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013*, Diário da República, 1ª série – Nº70 – 10 de Abril de 2013.
- [19]. *Decreto-Lei nº 126/2010*, Diário da República, 1ª série – Nº227 – 23 Novembro de 2010.
- [20]. *Decreto-Lei nº 226-A/2007*, Diário da República, 1ª série – Nº105 – 31 de Maio de 2007.
- [21]. *Portaria nº 295/2002*, Diário da República, I SÉRIE B – Nº66 – 19 de Março de 2002.
- [22]. Gary W. Frey and Deborah M. Linke, *Hydropower as a renewable and sustainable energy resource meeting global energy challenges in a reasonable way*. Energy Policy, 2002 **30**: p.1261-1265.
- [23]. M.M. Cordova, E.C. Finardi, F.A.C. Ribas, V.L. de Matos, M.R. Scuzziato, *Performance evaluation and energy production optimization in the real-time operation of hydropower plants*. Electric Power Systems Research, 2014 **116**: p. 201-207.
- [24]. Henriëtte I. Jager, Rebecca A. Efroymsen, Jeff J. Opperman, Michael R. Kelly, *Spatial design principles for sustainable hydropower development*



- in river basins*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015 **45**: p. 808-816.
- [25]. Jiuping Xu, Ting Ni, Bobo Zheng, *Hydropower development trends from a technological paradigm perspective*. Energy Conversion and Management, 2015 **90**: p. 195-206.
- [26]. Marcos Gimeno-Gutiérrez and Roberto Lacal-Arántegui, *Assessment of the European potential for pumped hydropower energy storage based on two existing reservoirs*. Renewable Energy, 2015 **75**: p. 856-868.
- [27]. Tiago M. X. Vasconcelos, *Análise Técnico-Económica de um Aproveitamento Hidroelétrico – Aproveitamento Hidroelétrico do Baixo Sabor*. Dissertação para Mestrado em Engenharia Eletrónica e de Computadores, Instituto Superior Técnico, 2012.
- [28]. Rui Castro, *Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica*. Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia – IST Press, 2010. 978-989-8481-01-6, p. 71-111.
- [29]. Rui Castro, *Energias Renováveis e Produção Descentralizada: A Energia Mini-Hídrica*. DEEC – Secção de Energia, Universidade Técnica de Lisboa, 2002.
- [30]. Pannathat Rojanamon, Tawee Chaisomphob, Thawilwadee Bureekul, *Application of geographical information system to site selection of small run-of-river hydropower project by considering engineering/ economic/ environmental criteria and social impact*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009 **13**: p. 2336-2348.
- [31]. Manuel Vaz Guedes, *O alternador Síncrono Trifásico nos Pequenos Aproveitamentos Hidroelétricos*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1994.
- [32]. João Rocha, *Metodologia de projeto de sistemas de produção de eletricidade descentralizada baseados em Energia Hídrica*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [33]. Audrius Zidonis and George A. Aggidis, *State of the art in numerical modelling of Pelton turbines*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015 **45**: p.135-144.



- [34]. Nirmal Acharya, Chang-Gu Kim, Bhola Thapa, Young-Ho Lee, *Numerical analysis and performance enhancement of cross-flow hydro turbine*. Renewable Energy, 2015 **1**: p. 1-8.
- [35]. Hyen-Jun Choi, Mohammed Asid Zullah, Hyoung-Woon Roh, Pil-Su Ha, Sueg-Young Oh, Young-Ho Lee, *CFD validation of performance improvement of a 500 kW Francis Turbine*. Renewable Energy, 2013 **54**: p. 111-123.
- [36]. P. Pennacchi, P. Borghesani, S. Chatterton, *A cyclostationary multi-domain analysis of fluid instability in Kaplan turbines*. Mechanical Systems and Signal Processing, 2013 **12**: p. 201-210.
- [37]. B. Ogayar and P.G. Vidal, *Cost determination of the electro-mechanical equipment of a small hydro-power plant*. Renewable Energy, 2009 **34**: p. 6-13.
- [38]. Michael Kargal, *Chapter 17 – The AC Induction Motor*. Drilling Fluids Processing Handbook, 2005, p. 413-464.
- [39]. João Luís Matos, *Fundamentos de Informação Geográfica*. LIDEL Edições Técnicas, 2001. 972-757-185-9.
- [40]. Pedro Leão Neto, *Sistemas de Informação Geográfica*. FCA Editora de Informática, 1998. 972-722-121-1.
- [41]. *Direção Geral do Território. Cartografia e Geodesia – Sistemas de Referência*.
Consultado de março a julho de 2015.
http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/sistemas_de_referencia/portugal_continental/pt_tm06_etrs89____european_terrestrial_reference_system_1989_2/
- [42]. *Direção Geral do Território. Geodesia – Transformação de Coordenadas*.
Consultado de março a julho de 2015.
http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/transformacao_de_coordenadas/
- [43]. Tomas Lepeska, *Hydric potential of landscape and integrated river basin management in mountain and submountane regions*. Ecohydrology & Hydrobiology, 2010 **10**: p. 13-24.
- [44]. *Léxico de Termos Hidrogeológicos do Laboratório Nacional de Energia e Geologia*.



Consultado de junho a julho de 2015.

http://geoportal.lneg.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=4&lg=pt

- [45]. *Agência Portuguesa do Ambiente. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos.*

Consultado de maio a junho de 2015.

<http://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=4&idItem=3&idSubtem=link4>

- [46]. *Direção Geral do Território. Sistema Nacional de Informação Geográfica.*

Consultado de maio a julho de 2015.

<http://snig.igeo.pt/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7BF3A44F95-B561-476B-8F82-43CA15C22866%7D>

- [47]. *Direção Geral da Agricultura e do Desenvolvimento Rural. Solos Cartografia e Informação Geográfica.*

Consultado de maio a junho de 2015.

<http://www.dgadr.mamaot.pt/cartografia/cartas-solos-cap-uso-digital>

- [48]. *Atlas Digital do Ambiente. Dados Técnicos.*

Consultado de maio a junho de 2015.

<http://sniamb.apambiente.pt/Home/Default.htm>

- [49]. *Direção Geral do Território. Cartografia – Modelos Digitais do Terreno.*

Consultado de maio a junho de 2015.

http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/modelos_digitais_do_terreno/

- [50]. *Instituto de Conservação da Natureza de das Florestas. Informação Geográfica.*

Consultado de maio a julho de 2015.

<http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/info-geo>

- [51]. *Direção Geral do Território. Cartografia Temática – Corine Land Cover.*

Consultado de maio a julho de 2015.

http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/cartografia_tematica/cartas_de_ocupacao_do_solo/corine_land_cover/

- [52]. K. Bódis, F. Monforti, S. Szabó, *Could Europe have more mini hydro sites? A suitability analysis based on continentally harmonized*



- geographical and hydrological data. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014 **37**: p. 794-808.
- [53]. *Direção Geral de Energia e Geologia. Caracterização Energética Nacional.*
Consultado de abril a junho de 2015.
<http://www.dgeg.pt/>
- [54]. K. Calvert, J.M. Pearce, W.E. Mabee, *Toward renewable energy geo-information infrastructures: Applications of GIScience and remote sensing that build institutional capacity.* *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013 **18**: p. 416-429.
- [55]. João R. Hipólito and Álvaro C. Vaz, *Hidrologia e Recursos Hídricos.* Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia – IST Press, 2014. 978-972-8469-86-3.
- [56]. *Decreto-Lei nº 140/1999*, Diário da República, 1ª série – Nº 96 – 24 de Abril de 1999.
- [57]. *Direção-Geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural. Reserva Agrícola Nacional*
Consultado em outubro de 2015.
<http://www.dgadr.mamaot.pt/ambord/reserva-agricola-nacional-ran>
- [58]. *Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte. Reserva Ecológica Nacional.*
Consultado em outubro de 2015.
<http://www.ccdr-n.pt/servicos/ordenamento-territorio/reserva-ecologica-nacional>
- [59]. *Instituto do Conservação da Natureza e das Florestas. Áreas Protegidas.*
Consultado em outubro de 2015.
<http://www.icnf.pt/portal/ap/criac-ap>
- [60]. José P. Sucena Paiva, *Redes de Energia Elétrica. Uma análise sistémica.* Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia – IST Press, 2012. 978-989-8481-061.55
- [61]. *Agencia Portuguesa do Ambiente. Planos de Gestão de Região Hidrográfica.*
Consultado em março do 2015.



http://www.apambiente.pt/_zdata/planos/PGRH1/PGRH1_RNT%5CPGRH1_RT_CE-RNT.pdf

- [62]. *PORDATA, Base de Dados de Portugal Contemporâneo. Censos da População.*

Consultado de março a maio de 2015

<http://www.pordata.pt/Subtema/Municipios/Censos+da+Popula%C3%A7%C3%A3o-204>

- [63]. *Agencia Portuguesa do Ambiente. Planos de Gestão de Região Hidrográfica.*

Consultado em março do 2015.

http://www.apambiente.pt/_zdata/planos/PGRH1/PGRH1_RB%5CPGRH1_RB_P2.pdf

- [64]. Miguel Mejías, Philippe Renard, Damian Glenz, *Hydraulic testing o flow-permeability formations: A case study in the granite of Cadalso de los Vidrios, Spain*. Engineering Geology, 2009 **107**: p. 88-97

- [65]. Vikram Gupta and Ruchika Sharma, *Relationship between textural, petrophysical and mechanical properties of quartzites: A case study from northwestern Himalaya*. Engineering Geology, 2012 **136**: p. 1-9.

- [66]. Andrew S. Murray, *Characterization deposits of NW Portugal: A record of climate, eustasy and crustal uplift during the Quarternary*. Engieneering Geology, 2014 **328**: p. 94-106.

- [67]. Juan L. Plata and Félix M. Rubio, *The use of MRS in the determination of hydraulic transmissivity: The case of aluvial aquifers*. Journal of Applied Geophysics, 2008 **66**: p. 128-139.

- [68]. Q. Tang, W. Kurtz, P. Brunner, H. Vereecken, H.J. Hendricks Franssen, *Characterisation of river-aquifer Exchange fluxes: The role of spacial patterns of riverbed hydraulic conductivities*. Journal of Hydrology, 2015 **13**: p. 13-26.

- [69]. A. Ferreira, *Caraterização de Portugal Continental. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2004 Capítulo II: p. 28-62.*

- [70]. Afonso Martins and José Lourenço, *Resumo das Caraterísticas das Unidades-Solo da Carta de Solos do Nordeste de Portugal*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2012.



- [71]. Mónica Santos and Marcelo Fragoso, *Precipitation variability in Northern Portugal: Data homogeneity assesement and trends in extreme precipitation índices*. Atmospheric Research, 2013 **131**: p. 34-45.
- [72]. J. Tuset, D. Vericat, R.J. Batalla, *Rainfall, runoff and sediment transport in a Mediterranean mountainous catchment*. Science of The Total Environment, 2015 **13**: p. 45-58.
- [73]. Jean-Christophe Castella, Pham Hung Manh, Suan Pheng Kam, Lorena Villano, Nathalie Rachel Tronche, *Analysis of village accessibility and its impact on land use dynamics in a mountainous province of northern Vietnam*. Applied Geography, 2005 **25**: p. 208-326.
- [74]. A. Lovett, S.M. Carvalho-Ribeiro, T. O’Riordan, *Multifunctional forest management in Northen Portugal: Moving from scenarios to governance for sustainable development*. Land Use Policy, 2010 **27**: p. 1111-1122.
- [75]. Klara Slezakova, Simone Morais Maria do Carmo Pereira, *Forest fires in Northen region of Portugal*. Atmospheric Research, 2013 **127**: p. 148-153.
- [76]. F. Pacheco, S. Varandas, L. Sanches Fernandes, R. Valle Junior, *Soil losses in rural watersheds with Environmental land use conflicts*. Science of The Total Environment, 2014 **485-486**: p.110-120.
- [77]. Zara Teixeira, Heliana Teixeira, João C. Marques, *Systematic processes of land use/land cover change: Implications on water quality*. Science of The Total Environment, 2014 **470-471**: p. 1320-1335.
- [78]. Ivone P.O. Martins, *Risco de Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Lima: Modelação Hidrológica com HEC – (Geo)RAS 4.0 e ArcGIS 9.3*. Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 2009.